



NÉPSZERŰ

TUDOMÁNYOS ELŐADÁSOK.

A KIR. MAGYAR

TERMÉSZETTUDOMÁNYI

TÁRSULAT

KÖNYVKIADÓ VÁLLALATA.

VI.

HELMHOLTZ,

NÉPSZERŰ ELŐADÁSOK.

FORDÍTOTTÁK

B. EÖTVÖS LORÁND és JENDRASSIK JENŐ.

AZ 1874-İK ÉVI KÖNYVILETMÉNY

2-İK KÖTETE,

A KÖNYVKIADÓ VÁLLALAT ALÁÍRÓI SZÁMÁRA.

90428

vk

NÉPSZERŰ
TUDOMÁNYOS ELŐADÁSOK.

írta

H. HELMHOLTZ.

FORDITOTTAK

B. EÖTVÖS LORÁND és JENDRASSIK JENŐ.

KÉT FÜZET, EGY KÖTETBEN.

Ötvenegy fametszetű ábrával.

BUDAPEST, 1874.

KIADJA A TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

KÖNYVKIADÓ VÁLLALATA.

M. ACADEMIA
KÖNYVTÁRA

ELŐSZÓ

HELMHOLTZ NÉPSZERŰ TUDOMÁNYOS ELŐADÁSAINAK

M A G Y A R K I A D Á S Á H O Z .

A szerény czim „Népszerű tudományos előadások“, melyet e kötet visel, aligha gyaníttatja e munka fontosságát a természettudományi irodalom terén. Fontosnak mondhatjuk azt nemcsak szerzőjének fényes neve, hanem a benne tárgyalt tudományos anyag jelentősége s azon indokok folytán is, melyek az egyes előadások tárgyának választására befolyással voltak.

Szerző előszavában ez előadásokat a véletlen szülötteinek mondja, melyek közös terv szerint kidolgozva nincsenek; de azért, ha elfogadjuk is, hogy keletkezésükre alkalmat csak a véletlen szolgáltatott, még sem szabad azon benső összefüggést figyelem nélkül hagynunk, melylyel azokat szerzőjük mintegy öntudatlanul egybekapcsolta.

Az összes emberi tudás körének merész és beható áttekintése, a törekvés, saját tudományágának vívmányait az emberi tudás általános mértéke szerint megbecsülni: ezek a főbb vonások, melyek Helmholtz tudományos tevékeny-

ségét jellemzik. Innét van, hogy míg a tudomány jelenkori gyűpontjában, Németországban a jelesek nagy része kizárólag a részletek tanulmányozásába merül, addig Helmholtz-nak e mellett még a nagy feladat jutott: a részleteket tudományos értékük szerint egy egészszé szőni, s azokból rendszerezett tudományt alakítani. A physiologiai hangtan és a physiologiai fénytán eléggé bizonyítják, mennyire felelt meg e feladatának.

Tudományos tevékenységének sajátos irányzata magyarázza meg azt is, mily eszme vezérelte őt ez előadások tárgyának választásánál. Ő, ki az ismeretlennek honába oly mélyen behatolt, s nemünkét oly dús eszmekincsessel gazdagította, fáradozásának eredményét az összes művelt emberiség ítélőszéke elé akarta bocsátani. Azért ragadott meg minden alkalmat, melyet egyéb foglalkozásai között többnyire a véletlen nyújtott, hogy saját tudományos vívmányait minden művelt egyénre nézve érthető, népszerű alakban ismertesse.

Az így létrejött előadásokat még sem méltányolnók érdemük szerint, ha bennök csupán szerzőjük tudományos tevékenységének népszerűsítését keresnők; mert ő az úttörő szerepében, melyet több mint két évtized óta oly nagy sikerrel visz, az összes természettudományok haladásával mindig együtt haladt, s ezért saját vívmányainak felsorolása alkalmával szükségképen az egész nagy mű haladásáról is számot adott.

Nem lesz érdektelen, ha egy futó pillantást vetünk azon benső összefüggésre, mely szerzőnknek szorosan vett tudományos tevékenysége s ezen előadásai között fennáll.

Az első jelentékeny mű, mely Helmholtz* nevére örök fényt vetett, az erő megmaradásáról irt értekezése volt 1847-ben (*Über die Erhaltung der Kraft*. Berlin, 1847). E rövid füzet, mely az összes természettudományok haladásának új irányt jelelt ki, szerzőjének egész további működésére irányadó lett. Erre tér vissza minden egyéb munkája közben s ezt iparkodik mindig teljesebben, mindig világosabban kifejteni. Népszerű előadásai közül a „természeti erők cserehatásairól” és az „erő megmaradásáról” szólók kizárólag a nevezett értekezés tárgyára vonatkoznak. A gyűjtemény végén a „természettudományok czéljáról és haladásairól” című előadásban, mely a többinek mintegy zárkövéül szolgál, e tárggyal még egyszer találkozunk. A „jég és jégár” című előadás gondolatmenetén vezérfonál gyanánt ugyan csak az erő megmaradásának elve vonul át.

Ez elv terjesztése s kellő érvényre emelése kétségtelenül Helmholtz legfőbb érdemei közé tartozik. J. R. Mayer ugyan már előbb, 1842-ben kimondotta azt, Joule már előbb szerzett arra vonatkozó kísérleti bizonyítékokat; de Helmholtz volt az első, ki általános elfogadásának szükségességét a kellő nyomatékkal kiemelte s az összes természeti jelenségek körében érvényre emelte. Magát az elvet előtte már többen ismerték, de csak az ő kezében

* Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand. — Dr. Med. — Született 1811 aug. 31-ikén Potsdamban. — Előbb katonaorvos, aztán segéd a berlini anatómiai muzeumban (1848), később a physiologia rendkívüli (1849), majd rendes tanára (1852) a königsbergi egyetemen, nemsokára a physiologia rendes tanára Bonnban (1855), utóbb Heidelbergben (1858), s végre 1871 óta a physika rendes tanára Berlinben

vált az a hatalmas eszközzé, melylyel a tudomány egész terét áttekinteni s az utakat kijelölni tudta, melyeken a tudománynak ezentúl haladnia kell. Mennyit tett ő ez irányban, arról a fent említett előadások is tanuskodnak.

Helmholtz tevékenysége azonban, nem sokkal az erő megmaradását tárgyaló értekezésének megjelenése után, más térre is kiterjedt. 1849-től fogva Königsbergben a physiologia tanszékét foglalta el s azóta minden fáradozása oda irányult, hogy a physika vívmányait e téren is érvényesítse. Figyelmét mindenek előtt a physiologiai fénytana fordította, s midőn 1856-ban Karsten physikai encyclopédiája számára e tudományág kézi könyvének első részét megírta, akkor azon nagy feladatra vállalkozott, hogy összegyűjtve mindazt, mi e tárgyra vonatkozólag valaha íratott, s a mutatkozó hiányokat önálló buvárlatok által pótolva, ez egész tudományágat a rendszerezett tudomány magaslatára emelje. E tárgyra vonatkozó önálló értekezéseinek hosszú sorát a kész mű koronázza, mely 1867-ben „Handbuch der physiologischen Optik“ czim alatt Lipszében megjelent. Annak népszerű ismertetése e mű megjelenését már egy év múlva követte az „újabb haladások a látás elméletében“ czimű előadásokban.

Szerzőnek ugyancsak ez iránybani tevékenysége eredményezte a „Goethe természettudományi munkáiról“ szóló előadást. Helmholtz a szellemi tevékenység egész terét átölelő gondolkozásával hallgatagon nem mellőzhette a vele e tekintetben oly rokonszellemű költőnek tudományos tevékenységét. Talán épen mert Goethével a színelmélet terén ellenkezésbe jött, azért iparkodott e nagy szellem iránti bámulatát azon érdemek méltatása által

kifejezni, melyek őt a természettudományok más ágaiban elvitázhatlanul megilletik.

Még a physiologiai fénytan megjelenése előtt Helmholtz-nak egy másik nagy műve látott napvilágot a hangérzetekről (*Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*. Braunschweig, 1862). E művet, mely a physika, physiologia és a zene között csodálatra méltó benső összeköttetést állapít meg, mely egy maga elég volna arra, hogy szerzőjét a halhatatlanok sorába emelje, ugyancsak hosszas és fáradságos buvárlatok előzték meg. Annak alapkövét Helmholtz már 1856-ban lerakta a *combinationstöne*. Poggendorff's *Annalen der Physik und Chemie*, Bd. 99) s azt népszerűsítette nem sokkal azután a „Zenei összehang élettani okairól” szóló előadásában.

Ezek szerint az e kötetben összefoglalt előadások, az elsőnek kivételével — melynek tisztán bölcészeti érdeke talán legalkalmasabb arra, hogy szerzőjének mély gondolatmenete által a nem természettudóst is elragadja — mindannyian közvetlenül az önálló tudományos buvárlat folyamában, mintegy annak kiegészítése gyanánt jöttek létre. A buvárlattal ily szorosan összekötve maguk is még annak nyomait viselik, s így a helyett, hogy könnyű modorban s fényes szavakkal csupán arra tanítanának: mit talált a tudomány, egyszersmind azzal is foglalkoznak: miként találta azt. Mig más ilyenmű munkák nagyrészt csak a természettudományok eredményeinek népszerűsítésére terjeszkednek ki, addig nézetem szerint ez előadások van-

nak leginkább hivatva arra, hogy e tudományág módszerének titkaiba a nem természettudóst is beavassák.

Csalódni fog azonban mindaz, ki e kötetben könnyű s kíváncsiságát ingerlő olvasmányt keres. Mint élvezhetlent fogja eldobni, ha ebéd után a pamlagon heverve, vagy elalvás előtt ágyában kezdi olvasni. E munka nem csupán mulattatni, de tanítani is akar, s tanulásnál nemcsak a tanítónak, de a tanítványnak is fáradnia kell. De a türelmes olvasó, ki e munkát figyelemmel elolvassa, s a szerző által elméjében felébresztett eszmék alapján nem restel maga is gondolkodni, fáradságát bizonyára jutalmazva találja; mert ama magas nézpontra fog emelkedni, melyből a tudomány széles látkörét, s a természetnek, minden változatossága daczára, egyszerű s mégis hatalmas szerkezetét fogja áttekinthetni!

Szerencsémnek tartom ezért, hogy e munka magyar kiadásához én is hozzájárulhattam valamivel. Könyvkiadó bizottságunk ugyanis Helmholtz azon előadásainak fordítását, melyek a physiologiai optikába vágnak, Jendrassik Jenő egyetemi tanár úrra, a többiekét pedig reám bízta.

Jendrassik úr fordítását Balogh Kálmán egyetemi tanár úr vizsgálta át, úgy, mint azt a könyvkiadó vállalat szabályzata elrendeli. Az általam fordított előadásokat tisztelt barátom Szily Kálmán volt szives átnézni, s fordításom e revíziónak nem egy javítást köszönhet. Mind a mellett az általam használt műszavak választását illetőleg csak én magam vagyok felelős.

Meggyőződésem az, hogy ha tudományos tárgyról írunk, akkor a tudomány érdekeit a nyelvtisztaság igényeinek feláldoznunk nem szabad. Minden magyar műszó, mely

az internationalis műnyelvtől eltér, egy kapesot bont szét, mely fiatal tudományos irodalmunkat a külföld tudománykincseihez köti. Ezért az internationalis műszavakat használtam gyakran még ott is, hol a helyöket elfoglaló magyar elnevezések már közhasználatba mentek át. Így a többi közt megtartottam az elektricitás és magnetismus elnevezéseket, mint magával a tudomány történeti fejlődésével összefüggőket, s nem használtam azok helyett a villanyosság és a delejesség szavakat, bár mellettök azon érv szólna is, hogy már régóta és sokak által használtatnak.

Budapest, 1874. november 30.

B. Eötvös Loránd.

TARTALOMJEGYZÉK.

Első füzet.

	Lap
Előszó az első füzethez	3
1. A természettudományok viszonya a tudományok összességéhez. — Fordította B. Eötvös Loránd; az eredetivel összehason- lította Szily Kálmán	5
2. Goethe természettudományi munkáiról. — Fordította B. Eötvös Loránd; az eredetivel összehasonlította Szily Kálmán	36
3. A zenei összhang élettani okairól. — Fordította B. Eötvös Loránd; az eredetivel összehasonlította Szily Kálmán	61
4. Jég és jégár. — Fordította B. Eötvös Loránd; az eredetivel összehasonlította Szily Kálmán	102

Második füzet.

Előszó a második füzethez	151
5. Az újabb haladások a látás elméletében. — Fordította Jendrassik Jenő; az eredetivel összehasonlította Balogh Kálmán	155
I. A szem optikai készüléke	155
II. A látérzések	186
III. A látérzéki felismerések	225
6. A természeti erők csere-hatásai és a physikának ide vonatkozó legújabb vívmányai. — Fordította B. Eötvös Loránd; az ere- detivel összehasonlította Szily Kálmán	268
7. Az erő megmaradásáról. — Fordította B. Eötvös Loránd; az eredetivel összehasonlította Szily Kálmán	310
8. A természettudomány céljáról és haladásairól. — Fordította B. Eötvös Loránd; az eredetivel összehasonlította Szily Kálmán .	356

NÉPSZERŰ
TUDOMÁNYOS ELŐADÁSOK.

ELSŐ FÜZET.

ELŐSZÓ

az első füzethez.

Több oldalról nyilvánult kívánságnak vélek eleget tehetni, midőn e füzetben különböző alkalmakból tartott népszerű előadásaim gyűjteményének első részét közléte szem. Oly olvasók számára irtam azokat, kik a nélkül hogy szakszerűen természettudományi tanulmányokkal foglalkoznának, a tudományos eredmények iránt mégis érdeklődnek. A hiányt, melyben nyomtatott természettudományi előadások mindig szenvednek, hogy t. i. az olvasó az oda tartozó kísérleteket úgy, mint a hallgató, nem láthatja és nem hallhatja, a kiadó elismerésre méltó készséggel pótolta azon ábrák által, melyekkel e kötetet gazdagította.

Az első és a második ez előadások közül már előbb kinyomatott, és pedig az első a heidelbergi egyetem egy programjában, mely könyvkereskedésbe nem is jutott, a második pedig a „Kieler Monatsschrift“ folyóirat 1853-ik évi májusi füzetében, de ott épen az illetékes olvasókörök kezébe alig jutott; ezért talán mindkettőnek kinyomatása alkalmoszerű leendő. A harmadik és negyedik előadás eddig egyáltalában nem nyomtatott ki.

Ez előadások keletkezésére leginkább a véletlen szolgáltatott alkalmat, s így azok nincsenek szigorú közös terv szerint kidolgozva, mert mindegyiket, a többitől függetlenül, zárt egészszé kellett kikerekíteni. Az ismétléseket nem lehetett ezért egészen kikerülni, s így e füzet tartalma talán tarkán egybehányottnak fog látszani. Ha mégis egy, mindannyira közös alapeszméről szólanom szabad, úgy ez nem volt más, mint hogy a természeti törvények lényegét és horderejét, valamint azoknak az ember szellemi tevékenységéhez való viszonyát iparkodtam előtüntetni, a mit mindig főérdeknek és főkelléknek tartottam oly előadásoknál, melyek túlnyomóan szépirodalmi műveltségű közönség előtt tartatnak. E közös kapocs, úgy gondolom, még világosabban fog előtűnni e gyűjtemény folytatásánál, melyre az erő megmaradásának elvéről tartott előadásaim sorát szántam, remélve, hogy kidolgozásukhoz mielőbb időm leend.

Egyelőre fogadják tisztelt olvasóim a néhányat, melyet most nyújthatok, azon elnézéssel, melyre az előadásoknak mindig számítaniok kell, ha nem élő szóval, hanem nyomtatott betűvel közöltetnek.

A szerző.

A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK VISZONYA
A
TUDOMÁNYOK ÖSSZESSÉGÉHEZ.

EGYETEMI ÜNNEPI BESZÉD

tartotta Heidelbergben, 1862-ik évi november 22-ikén

Dr. H. HELMHOLTZ,

az időben prorektor.

Tisztelt gyülekezet!

Egyetemünk e napot évről évre ünnepelve, háláérzetét fejezi ki Károly Frigyes, ez ország fenkölt szellemű fejedelmének emléke iránt, nem feledhetvén, hogy ő az, ki a nehéz időben, midőn Európa egész régi rendje felbomolni látszott, egy pillanatig sem ingadozva, csak nemzetének javáért s szellemi fejlődéseért fáradozott, s hogy ő az, ki helyesen felismeré, miszerint nemes czéljainak előmozdítására ez egyetem felelevenítése s megújítása a leghathatósabb eszközök egyike lesz. Midőn ily napon s e helyen az összes egyetem képviselője gyanánt szavamat az összes egyetemhez intézem, helyén lesz, ha az egyes tudományok összefüggésére s azoknak

egységes tanulmányozására utalok, legalább a mennyire ez ama korlátolt álláspontból lehetséges, melyet mi egyesek az egészszel szemben elfoglalunk.

A viszonyos kapocs, mely az egyes tudományokat összefűzi, s mely lehetővé teszi, hogy azokat az *universitas litterarum* neve alatt foglaljuk egybe, lazábbnak látszik ma, mint valaha. Korunk tudósait a részletek tanulmányozásába mélyedve találjuk, úgy, hogy még a polyhistor is, minden fáradozása mellett, a jelenkori tudomány tágas mezejének csak kis részét képes fejében elszállásolni. A most lefolyt három század nyelvésze elég foglalkozást talált már a latin és görög nyelv tanulmányozásában; pusztán gyakorlati czélokból tanultak még talán egy-két európai nyelvet is. Ma az összehasonlító nyelvészet a nyelv képződésének törvényeit keresve, minden embertörzs minden nyelvének megismerését tűzte ki feladatául, s e nagy munkát valóban óriási szorgalommal kezdte meg. Mi több, korunk tudósai még a *classica philologia* körén belül sem szorítkoznak már kizárólag azon iratok tanulmányozására, melyek művészi tökélyük, eszméik éle, vagy tárgyuk fontossága által örök időkre a költészet és próza mintáivá váltak; hiszen egy régi író bármely töredékes irata, egy pedáns grammatikus vagy bizanti költő bármely jegyzete, egy római tisztviselő törött sírköve, melyet talán Magyarországon, Spanyolországban vagy Afrika valamely zugában találunk, hirmondó vagy bizonyíték gyanánt szolgálhat, mely annak helyén s idején fontossá válhatik. Ekként a tudósok egy másik csoportjának tevékenységét azon óriási vállalat veszi igénybe, felkeresni a classikus ókor minden maradványait, s azokat összegyűjteni és rendezni, úgy, hogy használatra készen legyenek. Gondoljunk e mellett a történeti kútfők tanulmányozására, az állami és városi levéltárakban felhalmozott pergamentek s papírok átkutatására, az emlékiratokban, levélgyűjteményekben és életleírásokban elszórt jegyzetek gyűjtésére és a hieroglifok s ékiratokban lerakott okmányok

kibetüzésére; gondoljunk e mellett az élő és özönvíz előtti állatok és növényeknek, nemkülönb az ásványoknak terjedelmében oly gyorsan növekvő, rendszeres áttekintésére, s szemünk előtt a tudományos ismeretek oly halmaza fog elterülni, mely csaknem kábitani képes. Mindezen tudományokban a kutatás köre még folyvást nagyobbodik, még pedig oly arányban, a mint az észlelés segédeszközei tökéletesbednek, s így a nélkül, hogy annak határait egyelőre kijelölhetnők. A múlt századok zoológja rendszeren megelégedett, ha egy állatnak fogait, szőrzetét, lábainak alkatát s egyéb külső ismertető jeleit leírta. Az anatóm pedig csak az ember bonczatanával s azzal is csak annyiban foglalkozott, a mennyiben azt késsel, fűrészszel és vésővel vagy legfeljebb az edények befeeszkendezése segélyével tehetette. Az ember bonczatana egymaga már roppant terjedelmű és nehéz tanulmány-nak tartatott. Ma nem elégszünk meg az ugynevezett durvább emberi bonczattal (mely többek által, ámbár hamisan, kimerített tárgynak tartatik), hanem az észlelők figyelmét különösen az összehasonlító bonczatan, azaz: az összes állatvilág bonczatana és a gőresővi bonczatan, tehát az előbbinél sokkal tágabb körű tudományok veszik igénybe. Az ó-kor és a középkori alchymia négy eleme helyett ma a vegytanban már 64 elem szerepel *, s ezek közül a három utolsó egy, egyetemünkön felfedezett módszer segélyével találatott, mely még több hasonló leletet helyez kilátásba **. De nem csak az elemek száma szapo-

* Ez adat, mely helyes volt akkor, midőn ez előadás tartatott, (1862) azóta megszűnt az lenni. Azóta új elemek fedeztetek fel, más testek pedig az elemek sorából kitöröltettek, úgy, hogy a vegytan ma nem 64, hanem 63 elemet ismer. Ford.

** A módszer, melyre itt hivatkozás történik, nem más, mint a színképi elemzés. Szerző jóslata tetteleg beteljesedett, mert azóta az e módszer segélyével felfedezett három elemhez (caesium, rubidium, thallium), még egy negyedik (az indium) is járult. Ford.

rodott ily rendkívüli mértékben, hanem a módszerek is, melyek szerint azokból összetett vegyületek állíthatók elő, oly annyira tökéletesbedtek, hogy az úgynevezett szerves vegytan, mely egyedül a szénnek hidrogén-, oxigén- és nitrogénnel s még néhány más elemmel alkotott vegyületeivel foglalkozik, maga külön tudománynyá vált.

„A hány csillag van az égen“, mondták őseink, ha oly számra gondoltak, mely felfogásuk határait felülmulta; Plinius a vakmerővel határos vállalatnak (rem etiam Deo improbam) tartja, hogy Hipparch a csillagok megszámlálásához s helyzetök meghatározásához fogott. Pedig a 17-ik századig táveső segítsége nélkül készített csillag-lajstromok csak 1000, legfeljebb 1500 első egész ötödik rangú csillagot tartalmaznak. Jelenleg több csillagdában foglalkoznak e lajstromok kiegészítésével, úgy, hogy azok a tizedik ranguakra is kiterjedjenek, mi által az égboltozaton mintegy 200,000 álló csillag lesz feljegyezve, s helyzetére nézve meghatározva.

E vizsgálatok tették lehetővé sok új bolygó felfedezését is, úgy, hogy míg 1781-ben csak 6 volt ismeretes, ma számukat már 75-re tehetjük *. Ha ezen minden ágra kiterjedő óriási tevékenységet áttekintjük, úgy az ember merész törekvései ijedt bámulatra ragadnak, mint a chorust Antigónében, midőn így szól:

Πολλὰ τὰ δεινὰ, κοῦδὲν ἀνδρώπου δεινότερον πέλει.

„Sok a bámulatra méltó, de mi sem bámulatra méltóbb az embernél“.

Ki az, ki ma az egészet áttekinteni és az összefüggés fonalát kezében tartva, magát tájékozni bírja? A tudományos anyag ily óriási gyarapodásának természetes következmé-

* A kis bolygók száma jelenleg (1874. július) 138-ra rög. Ezekhez hozzáadva a 8 nagy bolygót, az összes ismert bolygók számát 146-ra kell becsülnünk.

legelőször is az által tűnik szemünk elé, hogy minden egyes bűvár kényszerítve van tevékenységét mind kisebb és kisebb térre szorítani, s a rokon tárgyak felől csak felületes ismereteket szerezhet. Nevetnünk kell ma, midőn azt olvassuk, hogy a 17-ik században Keppler a mennyiségtan és erkölestan tanszékének betöltésére hivatott Gräczba, vagy hogy a 18-ik század elején Boerhave Leydenben egy és ugyanazon időben a növénytan, vegytan és a belgyógyászat tanszékét töltötte be, s mint az utolsónak tanára, még a gyógyszerismét is előadta. Ma legalább négy, sőt teljesen betöltött egyetemeken hét vagy nyolcz tanárra van szükségünk, hogy mind e tanszakok képviselve legyenek. Ez áll a többi szakokra nézve is.

Azon körülmény, hogy magam természettudós vagyok, különösen bizdit az egyes tudományok közötti összefüggés kérdésének vizsgálatára, mert újabb időben épen a természettudományt gyanúsították azzal, hogy elszigetelt utakra lépett s elidegenedett a többi tudományoktól, melyek közös nyelvészeti és történeti tanulmányaik által szorosabban összetartatnak. Ez ellentét egy ideig csakugyan érezhető volt, s úgy látszik leginkább Hegel bölesészetének befolyása alatt fejlődött ki, vagy legalább ennek folytán tűnt ki világosabban mint azelőtt. Hiszen a mult század vége felé, Kant tanának befolyása alatt, az ilyen elkülönzésről még szó sem volt; sőt e bölesészeti iskola a természettudományokkal közös alapon állott, mit magának Kant-nak természettudományi munkái világosan bizonyítanak; így különösen a Newton-féle nehézkedési (gravitatio) törvényre alapított kosmogoniai nézete, mely később Laplace ezége alatt általános elismerésre talált. Kant bíráló bölesészetének (kritische Philosophie) célja nem is volt más, mint az, hogy természettudományi ismereteink forrásait és jogosultságát vizsgálja és szellemi tevékenységének mértékét a többi tudományágakkal szemben megállapítsa. Az oly tételnek, mely tiszta gondolkodás útján a priori állítottatott fel, ez iskola tana sze-

rint, pozitív és reális tartalma nem volt, hanem csak szabály gyanánt szolgálhatott az a gondolkozás módszerére nézve. Az identitás bölésészete (Identitäts-Philosophie) ezzel ellentétben sokkal merészebb volt. Kiindulási pontja azon feltevés, hogy a való világ, a természet és az emberi élet egy teremtő szellem gondolkozásának szüleményei, s hogy e szellem lényegére nézve az ember szellemével egyneműnek tekintendő. E szerint az ember szelleme külső tapasztalatok vezérlete nélkül is hívatta látszik arra, hogy a Teremtő eszméit kövesse és saját belső tevékenysége által mintegy újra felfedezze. Ily értelemben iparkodott az identitás bölésészete a többi tudományok lényeges eredményeit a priori megállapítani. E működése nem is maradt egészen sikertelen, a meddig az a vallás, jog, állam, nyelv, művészet és történelemre, tehát röviden, azon tudományokra terjedt ki, melyeknek tárgya lényegében pszichológiai alapokon nyugszik és melyek ezért a szellemi tudományok (Geisteswissenschaften) jellemző elnevezése alatt foglaltatnak össze. Állam, egyház, művészet és nyelv, szerinte, azért vannak, hogy az ember bizonyos szellemi szükségleteit kielégítsék. Külső akadályok, természeti erők, a véletlen vagy más emberek feltékenysége a rendet ugyan megzavarhatják, de azért az emberi szellemnek egy bizonyos állandó cél felé irányított törekvése, hatalmával elnyomva a terv nélkül működő akadályokat, végre még is érvényre jut. Ily értelemben talán nem is volna lehetetlen az emberi szellem pontos ismeretére támaszkodva, legalább körvonalalaiban, a priori vázolni az emberi nem fejlődési menetét, különösen, ha a böléselkedő a tapasztalatok bőséges készletével rendelkezik, melyre abstractióit alapíthatja. Hegelt, az e feladat megoldására irányzott törekvéseiben lényegesen támogatták ama mely bölésészeti észrevételek a történelem és tudomány köréből, melyeket az őt közvetlenül megelőző kor bölésészei és költői tettek, úgy, hogy neki jóformán csak a meglevőt kellett össze-

gyűjtenie és rendeznie, hogy meglepő nézetekben gazdag rendszerét felállíthassa.

Igy történhetett az, hogy korának legtöbbjei fáradozásait lelkesült tetszéssel kísérték, túlzó reménynyel várva azoktól az emberi élet legmélyebb titkainak megoldását. A sajátos elvont nyelv, mely a rendszer összefüggését beburkolta, s melyet bámulói közül csak kevesen értettek, annak dicsőségét csak nevelni látszott.

Az, hogy a szellemi tudományok főbb eredményeinek megállapítása többé kevésbé sikerült, még sem volt elég bizonyíték az identitás feltevésének helyességére nézve, melyből Hegel bölesészete kiindult. Ellenkezőleg csak természeti tények képezhették volna próbakövét. Magából érthető, hogy a szellemi tudományok körében az emberi szellem és fejlődési fokozatainak tevékenysége nyom nélkül nem maradhatott. Ha azonban a természet egy hasonló teremő szellem gondolatmenetének eredményét tükröznie vissza, úgy a természetnek aránylag egyszerű alakjai és jelenei még sokkal könnyebben lennének e rendszerbe sorozhatók. Éppen itt szenvedtek az identitás bölesészetének erőmegfeszítései hajótörést. Hegel természetbölesészete, legalább a természettudós szemében, teljesen értelem nélkülinek tűnt fel. Ama kor nagy számú, kitünő természettudósa között nem találkozott egy sem, ki Hegel eszméivel megbarátkozott volna. Mivel pedig Hegelre nézve különösen fontos lett volna, magának e téren is azon elismerést kivívni, melyet másutt oly busásan talált, azért rendkívül szenvedélyes és elkeseredett vitát kezdett meg, azt különösen Newton ellen, mint a tudományos természetbuvárlás első és legnagyobb képviselője ellen irányozván. A bölesész a természettudóst korlátoltsággal, ez amaszt értelmetlenséggel vádolta. A természettudósok ez időtől fogva bizonyos súlyt fektettek arra, hogy munkálataik minden bölesészeti befolyások alól mentek legyenek, s közülök többen, s pedig kiváló jelentőségű férfiak is, a bölesészetet nem csak haszontalannak, hanem veszélyes ábrándozás gyanánt

elvetendőnek tartották. Be kell vallanunk, hogy e közben ama jogosulatlan követelésekkel együtt, melyeket az identitás bölesészete a többi szakmák alárendeltségére nézve érvénysíteni iparkodott, a bölesészetnek igazolt követelései is visszavettettek, mint például az, hogy az ismeretek forrásait bírálja vagy hogy a szellemi munka mértékét megállapítsa.

Másként történt ez a szellemi tudományok körében, bár az eredmény elvégre csaknem ugyanaz lön. Hegel bölesészete e tudományok minden ágában, a vallás, állam, jog, művészet és nyelv körében, lelkesült követőkre talált, kik e tan értelmében mindannyian reformálni és speculativ uton gyorsan oly gyümölcsöket érlelni iparkodtak, melyeket mások addig csak lassan s csak fáradságos munkával tudtak előteremteni. Ekként állott elő ez időben a természettudományok és a szellemi tudományok között amaz éles és rideg ellentét, melynek folytán az előbbieknak néha még tudományos jellege is határozottan kétségbe vonatott.

Igaz, hogy e feszült viszony első elkeseredése nem sokára lecsillapodott. A természettudományok felfedezéseik és alkalmazásaik fényes sorával gyorsan bebizonyították, hogy rendkívüli termékenység egészséges magvát rejtik magukban. Az elismerést és tiszteletet tőlük megtagadni többé nem lehetett. A tények lelkiismeretes kutatói nem sokára a tudás más terein is óvást emeltek a speculatio nagyon is merész Icarus-röpte ellen. Nem szabad azonban ama bölesészeti rendszerek jótékony befolyását egészen félreismerni; mert nem tagadhatjuk, hogy Hegel és Schelling fellépése óta a buvárok figyelme a szellemi tudományok körében élénkebben és tartósabban irányult szellemi tartalmuk és czéljok felé, mint az a megelőző századok alatt történt, s ennyiben ama bölesészeti iskola fáradozása nem maradt (egészen) sikertelen.

A mily mértékben a tények tapasztalati fürkészése a többi tudományok terén is mindinkább előtérbe nyomult, azon mértékben csökkent a köztük és a természettudományok

között fennálló ellentét. De, ha az a nevezett bölcsészeti nézetek befolyása folytán túlzott ridegséggel tünt is elő, még sem tagadhatjuk, hogy az ellentét magában a dolog lényegében fekszik s ott is nyilvánul. Ott van annak csirája mind magában szellemi tevékenységünk módjában, mind a nevezett szakok tartalmában, a mint azt már a természeti és szellemi tudományok elnevezése is mutatja. A physikus csak bizonyos nehézséggel fogja a nyelvészt és jogászt valamely bonyolódott természeti tünemény értelmébe beavatni; kell, hogy ez esetben részükről bizonyos ügyességet tételézen fel elvont mértani és mechanikai fogalmak használatában, melyek körében azok őt csak nehezen követhetik. Más oldalról az aesthetikus és theolog a természettudóst nagyon is hajlandónak találja oly mechanikai és anyagias magyarázatokra, melyeket ők durváknak tartanak s melyek őket érzelmeik és lelkesedésük emelkedettségében sértik. A nyelvész és történész, kikkel a jogász és theolog közös nyelvészeti és történeti tanulmányok által van egybekötve, a természettudóst irodalmi kinevezés irányában közönyösnek találják, sőt talán még saját tudományának történetére vonatkozólag is közönyösséggel vádolhatják. Tagadhatatlan végre az is, hogy a szellemi tudományok közvetlenül foglalkoznak az emberi szellem legdrágább érdekeivel s az általa az életbe behozott renddel, míg a természettudományok csupán külső, közömbös tárgyakkal foglalkoznak, melyeket látszólag csak gyakorlati hasznuk miatt nem hagyhatunk tekintet nélkül, s melyek szellemünk fejlődésére közvetlen befolyást gyakorolni nem látszanak.

Miután a dolog így áll, miután a tudományok végtelen sok ágazatokra szakadtak, miután közöttük szembetűnő ellentétek fejlődtek ki, miután egyes ember a tudományok összességét vagy bár jelentékeny részét sem képes többé felkarolni; méltán kérdehetjük indokolva van-e, ha az összes tudományokat közös intézetekbe szorítjuk össze? A négy f a c u l t á s összeolvasása egy universitássá nem csupán a középkor avult

maradványa-e? Voltak, kik nem egy előnyt vártak azon nézetük érvényesítésétől, miszerint az orvostanhallgatót nagyvárosi kórházakba, a természettudóst a műegyetembe kell küldeni, a theológ és jogász számára különös iskolákat és képezdékelt állítván fel. De reméljük, hogy a német egyetemek még soká nem jutnak e sorsra! Ez által szakadna meg csak igazán az egyes tudományágak közötti összefüggés, s pedig mennyire szükséges az, nem csak alaki tekintetben a tudományos tevéreő fenntartása —, hanem anyagi tekintetben is a tudományos munka eredményeinek érvényesítése végett, azt a következőből fogjuk látni.

Vizsgáljuk a dolgot először alaki tekintetben. Mondhatnám az összes tudományok egyesítése szükséges arra, hogy a szellemi erők egészséges egyensúlyban tartassanak. Minden egyes tudomány a szellemnek bizonyos képességeit veszi leginkább igénybe s azokat erősíti hosszasb gyakorlat által. De minden egyoldalú képzettségnek hátránya is van, a mennyiben képtelenné tesz a tevékenység többi, meg nem szokott módjainak gyakorlására, s elzárja az egész nagy összefüggésnek látkörét; különösen pedig könnyen túlzott önbizalomra vezet. A ki észreveszi, hogy a szellemi tevékenység bizonyos nemében másoknál jártasabb, az könnyen feledi, hogy sokra képtelen, mit azok nála jobban végeznek; pedig a túlzott önbizalom — s ezt ne feledje az, ki a tudomáynak szenteli életét — épen a tudományos tevékenységnek legnagyobb és legveszélyesebb ellensége. Hányan, s mily nagy képességű emberek feledkeztek már meg a tudásra nézve annyira szükséges s annyira nehéz önbírálatról, és zsibbadtak el tevékenységük közben azért, mert a száraz és serény munkát magukhoz nem méltónak tartották, s csak szellemidús eszmeekapcsolatokat s világrendítő felfedezéseket akartak napfényre hozni! Hányan ezek közül voltak már elkeseredett s embergyűlölő érzelmeikkel búskomor magányba, csak azért, mert nélkülözték az emberek elismerését, mely természetesen csak a munka s az azt kö-

vető eredmények által vívható ki, s nem juthat osztályrészül a csupán magát bámuló lángésznek. S mennél elszigeteltebb az egyes, annál fenyegetőbb reá nézve e veszély; míg megfordítva, mi sem éltetőbb a kényszernél, összes erejének megfeszítésével oly emberek elismeréseért küzdeni, kik maguk is elismerésre méltók.

Ila a tudomány különböző ágazataiban a szellemi tevékenység módját megfigyeljük, úgy abban, maguk az egyes tudományok szerint, bizonyos lényeges különbségekre találunk, ámbár tagadhatatlan, hogy minden egyes kiváló szellemnek saját egyéni irányzata van, mely által épen tevékenységének sajátos nemére kiválóan képesítettik. Hasonlítsuk egybe két egykorú buvárnak rokontárgyú munkálatait, s meg fogunk győződni arról, hogy a szerzők mennél kitünőbbek voltak, annál határozottabban fejezték ki szellemi egyéniségüket, s annál kevésbé lett volna az egyik képesítve arra, hogy a másiknak munkálatait végezze. Ez alkalommal feladatomban természetesen csak az lehet: azon általános különbségeket jellemezni, melyeket a szellemi tevékenység a tudomány különböző ágazataiban előtűntet.

A tudományok anyagának óriási terjedelméről már szóltam. Mindenekelőtt világos, hogy mennél óriásibb e terjedelem, annál tökéletesebb és pontosabb szervezésre és rendezésre van szükségünk, ha a tudományosság tömkelegében reménytelenül eltévedni nem akarunk; mennél jobb a szervezet és a rendszer, annál könnyebben halmozhatók össze a részletek, a nélkül hogy az által az összefüggés csorbát szenvedne. Korunk épen azért tehet annyit az egyes részletekben, mert elődeitől megtanulta, miként kelljen a tudomány szervezetét (Organisation) rendezni.

E szervezet első foka nem egyéb ama külső, csak közmegegyezésen alapuló rendnél, mint azt lajstromok, szótárak, tárgymutatók, irodalmi áttekintések, törvénygyűjtemények, természetrajzi rendszerek s i. t. tüntetik elő. Mindezek által

nem is érünk el egyebet, mint azt, hogy az ismeretek, melyeket közvetlenül emlékezetben tartani nem bírunk, segélyökkel bármely pillanatban rendelkezésünkre állanak. Jó szótár segélyével ma egy gymnasista a classicusokat értelmezve nem egy helyet magyarázhat meg, melyet talán még Erasmus is, hosszú életének olvasottsága daczára, neheznek és homályosnak tartott. A művek e neme az emberiség tudományos vagyonának úgyszólván alapját képezi, melynek kamataival csaknem úgy gazdálkodunk, mint a tőkével, melyet földbirtokba fektetünk. Mint a föld, mely a gazdasághoz tartozik, olyan ama tudás is, mely a lajstromokban foglaltatik, nem szép s nem esábitó külsejű. A hozzá nem értő nem is méltányolja a munkát, mely ama szántóföldek rejtett kincsét képezi, s a szántó-vető munkáját nehézkesnek, fáradságosnak és unalmasnak tartja. Bárha a lexicograph vagy a természetrajzi rendszerező munkája ép oly fáradságos és kitartó szorgalmat igényel is, mint a szántóvetőé, azért mégsem szabad azt alsóbbrendűnek tartanunk, vagy azt gondolnunk, hogy e munka maga oly száraz és gépies, mint a minőnek akkor látszik, midőn a kész jegyzék a nyomdából napvilágra jő. Hiszen a munka folyamában minden egyes tényt gondos megfigyelés útján kell felismerni, aztán megvizsgálni s más tényekkel egybevetve, a fontosat a kevésbbé fontostól elválasztani. Mindezt bizonyára csak az teheti, ki ismeri a gyűjtésnek célját s helyesen felismerte az illető tudomány szellemi tartalmát és módszereit. Az ilyen munkás tudni fogja, miként kell az egyes esetet a meglevő egészhez csatolni, s annak sajátosságos érdekét felismerni. E nélkül az ily feladat valóban a legkellemetlenebb szolgálai munka volna, melyet gondolhatunk. Hogy a tudomány haladó eszmemenete az ilyen művekre is befolyást gyakorol, azt leginkább abból látjuk, hogy folytonosan új szótárak és ismerettárak, új természetrajzi rendszerek, új törvénygyűjtemények, új csillagjegyzékek szüksége

áll elő; s épen ebben nyilvánul a tudomány módszerének s szervezetének folytonos haladása.

Nem szabad azonban ismereteinket jegyzékek alakjában lerakva hagyni; mert már maga a körülmény, hogy azokat használatuk alkalmával, vastag kötetek alakjában, külsőleg is magunkkal kell hordauunk, eléggé mutatja, hogy tartalmukat szellemileg még meg nem emésztettük. Nem elég a tényeket ismerni; a tudomány csak a tények törvényei és okainak leleplezésével kezdődik. Az összegyűjtött anyag észszerű feldolgozása mindenképp azt követeli, hogy a hasonlókat egybefoglalván, belőlük egy általános fogalmat alakítsunk, mely mindenikükre kiterjedjen. Az így nyert fogalom, mint már e név is mutatja, az egyes részleteknek egész sorát foglalja magában s e részleteket képviseli gondolkozásunk menetében. Faji fogalomnak (*Gattungsbegriff*) nevezzük, ha a létező tárgyak bizonyos csoportjára vonatkozik; törvénynek nevezzük, ha a folyamatok és események bizonyos sorozatát foglalja egybe. Ha megállapítottuk azt, hogy az emlős állatok, azaz mindazon melegvérű állatok, melyek eleven utódokat szülnek, egyszersmind tüdővel lélegzenek, és két szívkamrájok s legalább három hallócsontocskáik van, úgy nem szükséges e bonczatani sajátságokat a majomra, lóra, kutyára vagy czethalra nézve külön-külön kiemelni. Az általános szabály itt az egyes esetek roppant számát karolja át s véli emlékezetünkbe. Más oldalról, ha a fénysugarak törési törvényét fejezzük ki, úgy e törvény nem csak azon eseteket öleli föl, és fejti meg, midőn sugarak egy bizonyos síma vízfelületre különböző szögletek alatt esnek — hanem mindazon eseteket is felöleli, midőn bármilynemű fénysugarak, bárminemű átlátszó anyag bármily alakú felületére esnek. E törvény tehát az egyes eseteknek valóban mérhetetlen mennyiségét foglalja össze, melyeket nem is lehetne egyenként emlékezetben tartani. Meg kell jegyeznünk azonban azt is, hogy e törvény nem csupán azon esetekre terjed ki, melyek magunk vagy mások által már

észleltettek, hanem hogy azt még új, elő nem fordult esetekre is alkalmazhatjuk s segélyével a fény törésének eredményét előre kimondhatjuk, a nélkül hogy várakozásunkban csalódástól kellene tartanunk. Épen így, ha egy még ismeretlen, eddig a bonczkés alá nem került emlős állatot találunk, úgy a bizonyossághoz közelítő valószínűséggel tehetjük fel azt, hogy annak tüdeje, két szívkamarája és három vagy több halló csontocskája van.

A mily mértékben tehát a tapasztalati tényeket gondolkozva egybefoglaljuk és fogalmakat alkotunk — legyenek azok akár faji fogalmak, akár törvények — ép azon mértékben öntjük tudásunkat nem csak oly alakba, melyben az könnyen kezelhetővé és fenttarthatóvá válik, hanem annak körét is tágitjuk, a mennyiben a talált szabályok és törvények a jövőben felmerülő hasonló esetekre engednek következtetni.

Az említett példák olyanok, melyekben az egyes eseteknek fogalommal kapcsolása ma már minden nehézség nélkül lehetséges, melyek tehát az egész gondolatmenet lényegét világosan előtűntetik. Bonyolodott esetekben azonban nem oly könnyű dolog a hasonlót a nem hasonlótól elválasztani, s abból élesen s világosan körvonalozott fogalmat alkotni. Tegyük fel, hogy egy embert hirszomjazónak ismerünk; talán meglehetősen bizonyossággal fogjuk előre megmondhatni, hogy bizonyos adott körülmények között mit fog, hirszomját követve, tenni. De sem nem tudjuk biztossággal defineálni: mi jellemzi a hirszomjazót, vagy mily mértékkel kelljen hirszomjának fokát megmérni; sem azt nem mondhatjuk meg határozottan: a hirszomjnak mily foka szükséges arra, hogy az illető ama körülmények között épen így cselekedjék. Nem tehetünk tehát egyebet, mint azt, hogy ama férfi ismert tetteit más férfiak tetteivel hasonlítjuk össze, kik hasonló esetekben hasonló módon jártak el mint ő, s aztán ez alapon következtetéseket vonunk jövő tetteire, a nélkül hogy következtetésünkben akár a major, akár a minor határozott s világos alakban kimondható volna, sőt a nélkül

talán, hogy magunk tisztában lennünk az iránt, miszerint jövendölésünk csak is az említett hasonlításra alapul. Itéletünk ez esetben nem öntudatos következtetésen, hanem csak bizonyos lélektani tapintaton alapul, habár a gondolatmenet lényegében itt is ugyanaz, mint akkor, midőn az újonnan talált emlősnak tüdőt tulajdonítunk.

Az inductio ez utóbbi faja, mely a logikai következtetés befejezett alakjáig, a kivétel nélkül érvényes törvények föllállításáig nem folytatható, az emberi életben roppant nagy szerepet játszik. Ezen alapul érzéki felfogásunk egész kifejlődése, mint azt különösen az úgynevezett érzéki csalódások tanulmányozása közben tapasztaljuk. Ha például szemünkben a látó ideg végelágazásait ütés vagy nyomás által ingereljük, úgy látterünkben a fény képzete keletkezik; mert látó idegünk rostjainak ingerét egész életünk folyamában csak akkor éreztük, midőn látterünkben fény volt jelen, s mert megszoktuk a látó ideg érzetét minden esetben fény jelenlétének tulajdonítani, s ezt aztán olyankor is tesszük, midőn nincs helyén. Az inductio ugyan e faja a lélektani folyamatok körében is főszerepet játszik, s azt természetesnek találhatjuk, ha meggondoljuk, mennyire bonyolodottak ama behatások, melyek a jellem képzésére s az ember pillanatnyi hangulatára befolyanak. Sőt midőn magunkat szabad akarattal, tehát oly képességgel ruházzuk fel, melynek folytán önhatalmunkból, a szigorú és kikerülhetetlen causalitás törvényei alól felszabadítva, bírnánk cselekedni, úgy az által kereken tagadjuk a lehetőséget, hogy szellemi tevékenységünk nyilvánulásainak bár csak egy része is szigorúan érvényes törvényekre visszavezethető lenne.

Az inductio e nemét, ellentétben a logikával, mely szabatosan kifejezett tételekre vezet, művészi inductionnak nevezhetnők, a mennyiben az kitünő műtárgyaknál lép legvilágosabban elő. A művészi tehetség leglényegesebb része épen abban áll, hogy valamely jellem vagy hangulat külső, jellemző ismertető jeleit szó, alak és szín, vagy hangok

által tudja visszaadni, s hogy bármily kifejezhető szabály használata nélkül, mintegy ösztönszerű belátással fogja fel azt, miként kelljen a szellem állapotainak tovább fejlődnie. Sőt mihelyest észreveszszük, hogy a művész öntudatosan, általános szabályokat s elvont tételeket követett, művét köznapinak és csekélynek tartjuk, s bámulatunk rögtön véget ér. A nagy művészek művei ellenben a jellemek és hangulatok képeit oly elevenen, egyéni jellemvonásokban oly gazdagon s oly meggyőző erővel és igazsággal tüntetik elő, hogy azok a valóságot csaknem felülmúlui látszanak, a mennyiben a zavaró mellékkörülmények által nem háboríttatnak.

Tekintsük most át a tudományok sorozatát, figyelmünket különösen a módra irányozván, a mint eredményeiket levezetik, s szemünk elő fog tűnni a lényeges különbség, mely a természettudományok és a szellemi tudományok között fennáll. A természettudományok, inductiójuk folyamában többnyire, élesen kifejezett általános szabályokra és törvényekre támaszkodnak, a szellemi tudományok ellenben inkább csak bizonyos lélektani tapintaton alapuló ítéletekre szorítkoznak. Így a történeti tudományok mindenekelőtt ama kútfők hitelességének vizsgálatára kényszerülnek, melyekből a tényeket meritik. Ha aztán a tények biztosan meg vannak állapítva, úgy a nehezebb s fontosabb feladat áll elő, felkeresni a szereplő népek és egyének cselekvésének gyakran nagyon bonyolodott és sokféle indokait. A feladat egyik mint másik részének megoldása csak lélektani vizsgálódás alapján lehetséges. A nyelvészeti tudományoknak, a mennyiben a reánk maradt szövegek magyarázásával és megigazításával, irodalomtörténettel és műtörténelemmel foglalkoznak, a szerzők szavainak valódi értelmét s a sejtetni akart mellékkörülményeket ki kell mintegy érezniök; arra, hogy ezt elérjék, helyesen kell felfogniok mind az író egyéniségét, mind a nyelv szellemét, melyben írt. Mindez inkább művészi, mint szorosan vett logikai inductio. Ítélethez itt csak

úgy juthatunk, ha emlékezetünkben az egynemű tények nagy számával rendelkezünk, s azokat az épen szóban forgó kérdéssel gyorsan vonatkozásba tudjuk hozni. Ezért az ilyenemű tanulmányok legfőbb követelményeinek egyike a hű és mindig készen álló emlékező tehetség. A híres történészek és nyelvészek közül sokan bámulatra ragadták kortársaikat emlékező tehetségök ereje által. Igaz, hogy az emlékező tehetség magában véve haszonvelhetetlen, ha nem kíséri képesség, a lényegében hasonlót gyorsan megtalálni, vagy ha nincs összekötve az ember indulatainak finoman és mélyen kiművelt ismeretével, mely csak az érzelem bizonyos heve s az érdek által lehetséges, melyet mások kedélyállapotainak megfigyelésében találunk. Míg a mindennapi életben az érintkezés ismerőseinkkel eme lélektani vizsgálódásnak alapját veti meg, addig a történet és művészet tanulmányozása annak kiegészítésére és gazdagítására szolgál. Itt valamint ott, az embert szokatlanabb körülmények között látjuk működni, s azon erők egész nagyságát felismerjük, melyek keblünk mélyében szunyadoznak.

A tudomány ezen részei, kivéve a nyelvtant, rendesen nem emelkednek szigorúan érvényes általános törvények alkotásáig. A nyelvtan törvényei az emberi akaratnak kifeléi, bár azok nem előlegesen megállapított terv szerint, hanem az időnként felmerülő szükséglet fedezése céljából keletkeztek. Ezért lépnek azok a nyelvet tanulni vágyó elé, mint megannyi rendelet, azaz mint oly törvények, melyek valamely idegen tekintély önkényének szüleményei.

A theologia és a jogtudomány a történeti és nyelvészeti tudományokhoz esatlakoznak azon előtanulmányok és segédtudományaik által, melyeket különösen amazokból merítenek. Az általános törvények, melyekkel bennök találkozzunk, szintén csupán rendelet, azaz oly törvények, melyeket a hitre és a cselekvés erkölcsös és jogos voltára nézve idegen tekintély szabott meg, és nem oly törvények,

melyek a természeti törvények módjára a tények egész csoportjának általánosítását foglalják magukban. Valamint azonban a természeti törvények alkalmazása egy adott esetben, úgy az alárendelés is a nyelvtani, jogi, erkölcsi és vallási rendeletek alá öntudatos és észszerű következtetés alakjában történik. Az ilyen következtetésnél a rendelet annak majorját képezi, a minor pedig azt határozza meg, mennyire tesz eleget a megítélendő eset azon feltételeknek, melyek között az illető rendelet érvényességre lép. Ez utóbbi feladat megoldása akár a nyelvtani elemzésnél, melynek célja valamely tétel értelmének világos kifejezése, akár a tényállás hitelességének, vagy a cselekvő személyek szándékának, vagy irataik értelmének jogi megítélésénél, többnyire csak a lélektani vizsgálat dolga lesz. Mindamellett nem tagadhatjuk, hogy mind a művelt nyelvek szókötése, mind a kétezer évnél hosszabb gyakorlat közben, lassanként tökéletesbült jogtudományi rendszer a logikai tökély és következetesség magas fokát érte el, úgy, hogy azon esetek, melyek az adott törvények valamelyike alá könnyen nem sorolhatók, jóformán csak a kivételek közé tartoznak. Az igaz, hogy ilyenek mindig fognak maradni, mert az emberek által felállított törvényhozás a természeti törvények szigorú következetességével s tökéletességével soha nem bírhat. Ily esetekben azután nem tehetünk egyebet, mint azt, hogy a törvényhozó szándékát a hasonló esetekre vonatkozó határozatokból analogia vagy következtetések útján iparkodunk kitalálni, illetőleg kiegészíteni.

A nyelvtani és jogi tanulmányok, mint szellemképzők, bizonyos előnnyel bírnak annyiban, hogy a szellemi tevékenység különböző módzatait csaknem egyaránt veszik igénybe. Ezért támaszkodik az újabb európai nemzetek iskolai képzettsége túlnyomóan az idegen nyelvek grammatikai tanulmányozására. Az anyanyelv s azon idegen nyelvek, melyeket csupán gyakorlat által tanulunk meg, az öntudatos logikai gondolkozást

igénybe nem veszik, s feladatuk inkább az, hogy a kifejezés művészi szépsége iránt az érzéket kiműveljék. A görög és latin, e két classikai nyelv, rendkívül finom, művészi és logikai fejlettsége mellett a régi és eredeti nyelvek azon előnyével is bír, hogy a szavak és mondatok nyelvtani viszonyát pontos, változatos és élesen megkülönböztetett hajtogatasi alakok segítségével képes jellemezni. A nyelvek hosszas használat által mintegy lecsiszoltatnak, s a nyelvtani szabályok, a gyakorlati rövidség és a kifejezés gyorsasága kedvéért, a legszükségesebbekre vezettetnek vissza; de az által egyszersmind határozott jellemüket veszítik el. Látjuk ezt az élő európai nyelveken, ha azokat a latinnal hasonlítjuk össze. E lecsiszolásban legelőbbre az angol haladt. Ugy gondolom ez oka annak is, hogy az élő nyelvek, mint tananyag, nem oly értékesek, mint a holt nyelvek.

Valamint a nyelvtan az ifjúság fejlesztésére szolgál, akként használhatjuk a jogi tanulmányokat az érettebb korúak művelődési eszközéül, még akkor is, ha azok a hivatás gyakorlati céljával közvetlen összeköttetésben nem állnának.

A szellemi munka nemére nézve a nyelv és történeti tudományoktól legtávolabbra a természettudományok esnek. Nem mintha azokból az analogiák ösztönszerű érzetének s bizonyos művészi tapintatnak szerepe egészen ki volna zárva. Sőt a természetrajzi szakokban annak megítélése, hogy az egyes fajok ismertető jelei közül melyek fontosak és melyek mellékesek a rendszerezés szempontjából, vagy hogy az állat- és növényvilág milyen osztályozása a legtermészetesebb, mindez leginkább csak a tapintatnak feladata, mely határozott szabályoktól menten működik. Jellemző az is, hogy az összehasonlító bonczatani vizsgálódást a különböző állatok megfelelő szerveinek analogiájáról és a növényország körében az analog tanulmányt a levelek átalakulása felől, egy művész t. i. Goethe indította meg, s hogy ő volt az, ki az irányt nagyjában kijelölte, melyet az összehasonlító

hővezetési azóta követ. De még e szakokban is, melyek az életfolyamatok leghomályosabb hatásainak körébe vezetnek, könnyebb általános fogalmakat s tételeket találni és pontosan kifejezni, mint ott, hol ítéletünket tisztán csak a szellemi tevékenység elemzésére alapíthatjuk. A természettudományok sajátos tudományos jelleme azonban teljes mértékben csak a kísérletileg és mennyiségtanilag kifejtett szakoknál, így különösen magánál a tiszta mennyiségtannál nyomul előtérbe.

E tudományok lényeges megkülönböztető jele, úgy gondolom az, hogy körükben aránylag könnyen lehet az észlelet és tapasztalat egyes eseteit feltétlen érvényű s rendkívül nagy terjedelmű törvényekké egyesíteni, míg éppen e feladat az, melynek megoldása az előbb tekintetbe vett tudományoknál csaknem legyőzhetetlen akadályokba ütközik. Mi több, a mennyiségtanban még az általános tételek is, melyeket axiomák gyanánt kiinduló pontul választ, oly kis számuak s a mellett oly roppant terjedelműek s közvetlenül annyira szembeötlők, hogy azok bizonyításra nem is szorulnak. Emlékezzünk csak meg arról, hogy az összes tiszta mennyiségtan (arithmetika) következő három axiomából indul ki:

„Ha két mennyiség egy harmadikkal egyenlő, egymás közt is egyenlő.“

„Egyenlőt egyenlőhöz adva, egyenlő származik.“

„Egyenletlent egyenlőhöz adva, egyenletlen származik.“

Nem számosabbak a mértan és elméleti mechanika axiomái sem. E tudományok eme kis számu előleges tételek alapján oly módon fejlődnek tovább, hogy azokból mindinkább bonyolódott esetekre következtetünk. Az arithmetika nem elégszik meg avval, ha a mennyiségek véges számu halmazát adja össze, hanem a felsőbb mennyiségtanban még arra is tanít, miként kelljen végtelen sok, a legkülönbözőbb törvények szerint növekvő vagy fogyó mennyiséget összeadni, tehát

oly feladatokat megoldani, melyeket a közvetlen, egyenes uton soha sem lehetne befejezni. Szellemünk öntudatos észszerű működését itt látjuk legtisztább és legtökéletesebb alakjában; itt ismerhetjük fel a nagy óvatosságot, melylyel haladnia kell, a pontosságot, mely arra szükséges, hogy a talált általános tételek érvényességének köre megállapíttassék s a nehézséget, mely az elvont fogalmak alakításával és értelmezésével jár együtt; de itt erősbödik bizalmunk is eme szellemi munka biztossága, jelentősége és termékenysége iránt.

Mindez még szembetünőbben áll elénk az alkalmazott mennyiség-tani tudományoknál, így különösen a mennyiség-tani physikánál s a hozzá sorolandó physikai esillagászatnál. Mióta *Newton* a bolygók mozgásának mechanikai elemzéséből felismerte, hogy minden súlyos anyag egymásra a távolból oly vonzó erőt gyakorol, mely a távolság négyzetével fordított arányban áll, azóta ez egyszerű törvény elégségesse vált arra, hogy a bolygók mozgásait, akár a legtávolabb mult és jövő időkre nézve, teljesen és pontosan kiszámíthassuk, ha t. i. rendszerünk egyes testjeinek helyzete, sebessége és tömege valamely tetszőleges pillanatban adva van. Ugyanezen erő nyilvánul a kettős esillagok mozgásaiban is, melyeknek távolságai oly nagyok, hogy fényük csak évek leforgása alatt jut el hozzánk, sőt részben oly nagyok, hogy észleleti meghatározásuk mindeddig lehető nem volt.

A gravitatio törvénye és a belőle folyó következtetések felfedezése a legnagyobbyszerű mű, melyet az emberi szellem logikai ereje valaha teremtett. Nem akarom azzal mondani, hogy nem lettek volna férfiak, kik ép oly, vagy talán még nagyobb abstraháló képességgel bírtak volna, mint *Newton* és azon esillagászok, kik felfedezését előkészítették, vagy kiművelték; de bizonyos az, hogy soha alkalmasabb tárgy nem kínálkozott, mint a bolygók bonyolódott mozgásai, melyek előbb a műveletlen szemlélőt csak astrologiai babonára

indították s most egyszerre egy törvénynek rendeltettek alá, mely mozgásaik legkisebb részletéről is számot tudott adni.

E nagy példát követve s annak mintája szerint fejlődtek ki a physika egyéb ágai is, mint különösen a fénytán s az elektricitás és magnetismus tana. A kísérleti tudományoknak azon nagy előnye van a tisztán észleletiek fölött, hogy az általános természeti törvények kutatásában a körülményeket is önkényesen változtathatják, melyek között valamely eredmény létre jő s ezért a törvény megállapításánál aránylag kevés, de jellemző eset megfigyelésére szorítkozhatnak. Igaz, hogy ezenkívül a törvény érvényességét még bonyolodottabb esetekben is próbára kell tenniök. A physikai tudományok, nihelyest a helyes módszerek ily módon megállapítottak, aránylag gyorsan haladtak előre. A mellett, hogy általuk képesítve lettünk amaz őskorba visszapillantani, midőn a köd módjára elterülő anyag csillagokká gömbölyödött, és sűrűdésének hevessége közben izzóvá vált, a mellett hogy általuk a nap légkörének alkatrészeit felismerni tudtuk s — még a legtávolabb álló csillagok vegytana sem maradhat* soká homályban — a physikai tudományoknak köszönhetjük azt is, hogy a kültermészet erőit saját hasznunkra s önkényünk szerint tudjuk kizsákmányolni.

A mondottakból már most kiviláglik, mennyire különbözik ez utóbbi tudományok szellemi tevékenységének legnagyobb része az előbbiektől. A matematikusnak nincs semmi szükség az egyes tények emlékezetére, s a physikus is csak nagy ritkán szorul reájok. A hasonló esetek emlékezetére épített gyanítások hasznosak lehetnek arra, hogy a helyes utat kijelöljék, de értéket csak akkor fognak nyerni, ha már szigorú alakba öntött s élesen körvonalozott törvényhez vezettek. A természettel szemben nem kételkedhetünk azon,

* W. Huggins és W. A. Miller már 1864-ben megismertették az α Orionis és az Aldebaran nevű csillagok vegyelemzését és bebizonyították, hogy némely ködfolt nem egyéb izzó gázgömbnél.

hogy teljesen szigorú s kivételt nem ismerő okszerű összefüggéssel van dolgunk. Ezért kell mindaddig tovább dolgozunk, míg kivételt nem tűrő törvényeket találtunk; előbb nyugodnunk nem szabad, mert csak ez alakban váltak ismereteink az idő, tér és a természeti hatalom uraivá.

Az öntudatos következtetés nehéz munkája nagy szívségöt s óvatosságot igényel; rendesen csak lassan halad előre s gyors szellemi szikrák által csak ritkán fejlesztetik. Nem találjuk itt ama gyors készséget, melylyel a különböző tapasztalatok a történész vagy nyelvész emlékezetében összefolynak. Ellenkezőleg a gondolkodás módszeres haladásának lényeges kelléke inkább az, hogy a gondolat egy pontra irányuljon, nem zavartatva mellékes dolgok által, nem zavartatva vágyak és remények által s folyvást csak saját akarata s határozata folytán haladva előre. Stuart Mill a híres bölesész azon meggyőződését fejezi ki, hogy újabb időben az inductiv tudományok többet tettek a logikai módszerek fejlesztésére, mint maguk a szorosan vett bölesészeti tanulmányok. A legnyomatékosabb ok erre bizonyára azon körülmény, hogy a tudás semmi más ágában sem válik a gondolatmenet hamissága az eredmények hamis volta által annyira világossá, mint az inductiv tudományok körében, hol gondolkodásunk eredményeit a valósággal csaknem mindig közvetlenül hasonlíthatjuk össze.

Midőn itt azon nézetemet fejeztem ki, hogy a természettudományoknak különösen mennyiségtanilag kifejtett ágai a tudományos feladatok megoldásában a többi tudományoknál általában előbbre haladtak, ezt azon reményben tettem, hogy szavaim nem fognak oda magyaráztatni, mintha ezeket amazoknál alantabb állóknak tartanám. Mert, ha a természettudományok tudományos alakjuk nagyobb tökélye által válnak ki, úgy a szellemi tudományok azon előnnyel bírnak, hogy gazdagabb s az ember érdekéhez s érzelmeihez közelebb fekvő tárgyakkal foglalkoznak, t. i. magával az emberi szellemmel s annak különböző ösztönei- s működé-

seivel. Osztályrészőkül a magasabb s nehezebb feladat jutott, de épen ezért nem szabad a tudomány azon ágainak példáját szem előtt veszteniök, melyek tárgyak könnyebbége folytán alaki tekintetben előbbre haladtak. Módszerükben tanúságot s eredményeik gazdagságában serkentést találhatnak. S valóban azt gondolom, hogy korunk a természettudományoktól már sokat tanult. A tények feltétlen tisztelete, a lelkiismeretesség gyűjtésök közben, a bizalmatlanság a külső látszat iránt, s a törekvés, mindenütt és mindenben okszerű összefüggést keresni és feltételezni, mi korunkat a multtal ellentétben talán leginkább jellemzi, ez említett befolyás következményeinek látszanak.

Nem szándékozom e helyen azon kérdésbe becsátkozni, mennyiben kelljen a mennyiségtani tanulmányokra, mint az öntudatos, észszerű szellemi működés képviselőire, az iskolában nagyobb súlyt fektetni, mint eddig. Ugy gondolom, ez csak idő kérdése. A mint a tudomány köre terjed, szervezete és rendszere is tökéletesedni fog, s így végre minden egyes ember kényszerítve lesz gondolkozását szigorúbb iskolázásnak vetni alá, mint azt a grammatika alapján tehetné. Saját tapasztalataim azt mutatják, hogy a tanulók, kik grammatikai irányzatú iskoláinkból természettudományi vagy orvosi tanulmányokra mennek át, kezdetben bizonyos ledérség által tűnnek fel, melylyel a szigoruan érvényes törvényeket alkalmazzák. A grammatikai szabályokat, melyek előbb gyakorlataik tárgyát képezték, többnyire a kivételek hosszú sora követi; s ily módon nem ébredhet fel a bizalom egy szigoruan általános törvény jogosult következtetéseinek biztossága iránt. De még más által is feltűnnek e tanulók, az által t. i., hogy örömet szeretnek hivatkozni tekintélyekre s pedig még ott is, hol önálló ítéletet alkothatnának. Természetesnek találhatjuk ezt, ha meggondoljuk, hogy a tanuló nyelvészeti tanulmányainak folyamában legjobb tanárai által is a tekintélyek ítéletére utasított, mert az egyes maga alig bírná az összes anyagot áttekinteni, s mert a kérdés

eldöntése sok esetben csak a kifejezés szépsége vagy a nyelv szelleme iránti aesthetikai érzés alapján lehetséges. E hibák egyike mint másika a gondolkozás bizonyos lomhaságából és határozatlanságából következik, a mi később nem csupán a természettudományi tanulmányoknak válik hátrányára. Mindkét baj orvoslására a mennyiségtan tanulmányozása bizonyára a leghelyesebb gyógyszer, mert abban a következtetés feltétlen biztosságát találjuk és saját eszünk fölött tekintélyt nem ismerünk.

Ennyit a szellemi tevékenység különböző irányairól, a mennyiben azok egymást a tudomány egyes ágaiban kiegészítik.

A tudás azonban nem lehet az ember egyedüli célja. Ámbár a tudomány az emberi szellem legfinomabb erőit ébreszti fel és fejleszti ki, mégis az, ki csupán azért tanul, hogy tudjon, életét e földön valóban betöltve nem fogja találni. Gyakran találkozunk nagy tehetségű férfiakkal, kiknek jó vagy balsorsa kényelmes életet biztosított, a nélkül hogy keblükbe a cselekvés dicsvágyát vagy erélyét oltotta volna, a mint napjaikat unalom és elégedetlenségtől gyötörve vonszolják tova, azon hitben, hogy szakadatlanul ismereteik gyarapításaért és szellemük továbbképzéseért fáradva, a legnemesebb életcélt tüzték maguk elé. Csak cselekvés lehet a férfi méltó feladata; tehát vagy az ismeretek gyakorlati alkalmazása, vagy magának a tudománynak gyarapítása. Mert ez utóbbi is munkálkodás az emberiség fejlődésének érdekében. Áttérünk ezzel a második kötetekre, mely a különböző tudományokat egymáshoz fűzi, t. i. azon kapcsolatra, mely tartalmukat összefűzi.

A tudomány hatalom; nincs kor, mely ez állítás helyességét oly világosan tüntetné elő, mint a mienk. Ma a szervetlen világ természetereit az emberi élet igényeinek s az emberi szellem céljainak szolgálatára kényszerítjük. A gőz alkalmazása az ember testi erejét ezer- sőt milliomszorossá fokozta, a szövő és fonó gépek oly munkát vállaltak

el, melynek egyetlen érdeme a lélekülő szabályosság. Az emberek kölcsönös érintkezése, minden anyagi s szellemi következményeivel együtt, oly mértékben növekedett, mint azt senki sem álmodhatta volna azon időben, midőn köztünk az öregebbek életüket kezdték. De a gépek nem az egyedüli tényezők, melyek az ember erejét sokszorozzák; a vontesövű aczélágyúk és pánczélos hajók, a pénz és élelmi készletek, nem az egyedüliek, mik nemzetet hatalmassá tesznek, bár mindezek befolyásukat oly világosan előtüntették, hogy még korunk legbüszkébb s leghajlíthatatlanabb abszolút kormányai is kényszerítve vannak az ipart felszabadítani s tanácsukban a dolgozó polgári osztályok politikai érdekeinek szavát is meghallgatni. Az állam politikai és jogi szervezete és az egyesek erkölcsi fegyelme a művelt nemzetek túlhatalmát a műveletlenek felett nem kisebb mértékben neveli, s vezeti az utóbbiakat, ha a műveltségnek nem hódolnak, a biztos megsemmisülés felé. Mindez együtt s egy cél felé halad. A hol nincs megszilárdult jogi állapot, a hol a nemzet többségének érdekei rendezett alakban nem érvényesülhetnek, ott lehetetlen a nemzeti jólét fejlődése s az ezen alapuló hatalom s még jó katona is csak az lehet, ki igazságos törvények alatt az önálló férfi becsületérzetéhez jutott, nem pedig a rabszolga, ki egy önkényes uralkodó szeszélyeinek van alárendelve.

Innen van, hogy a természettudományok fejlesztése és technikai alkalmazása ép úgy, mint a politikai, jogi és erkölcsi tudományoknak s a szolgálatukban álló történeti és nyelvészeti segédszakoknak fejlesztése, minden nemzetnek közös érdekét képezi s pedig nem csupán magasabb eszményi tekintetből, hanem fentartásuknak közvetlen érdekéből is. Hátramaradni egyiknek sem szabad, ha önállóságát és befolyását meg akarja őrizni. Belátta ezt Európa minden művelt nemzete. Az anyagi támogatás, melyben az egyetemek, iskolák és tudományos intézetek jelenleg részesülnek, felülmúlja

mindazt, mi ez irányban előbb történt. Ez év folyamában kormányunk minket is egy új adománynyal gazdagított*. A bevezetésben szoltam már a tudományos munka növekvő elágazásáról és szervezéséről, s valóban a tudomány emberei mintegy szervezett hadsereget képeznek, mely az összes nemzet javára és többnyire annak megbízása folytán és költségein azon ismereteket gyarapítani törekszik, melyek az ipar, gazdagság s az élet kellemének fokozására, valamint a politikai szervezet s az egyesek erkölcsi fejlődésének javítására szolgálhatnak. Igaz, hogy nem szabad itt a tudatlanok módjára a közvetlen hasznót keresni. Minden, mi a természet vagy az emberi szellem erőire nézve felyvilágosítást nyújt, kétségtelenül becses, s annak idején hasznos is lehet, s pedig gyakran ott, hol azt legkevésbé gyanítanók. Midőn Galvani a békacombokat különböző fémekkel megérintve, azokat rángatózni látta, kinek fejében született volna meg a gondolat, hogy 80 évvel később Európa dróttokkal lesz behálózva, melyek ugyanazon folyamat segítségével, a Madridban történtek hírét villámgyorsasággal fogják Szt.-Pétervárra vinni! Az electricus folyamok Galvani sőt még Volta kezeiben is csak a leggyengébb erőnyilvánulásokkal jelentkeztek s csak a legfinomabb észleleti módszerek segítségével voltak észrevehetők. Bár vizsgálatuk az időben még hasznót nem ígért, természettanunk mégis a különböző természeterők legérdekesebb kapcsolatainak ismeretétől fosztatott volna meg, ha e felfedezés tere, mint értéktelen, parlagon hagyatott volna. Mikor Galilei, mint tanuló, a pisai templomban az isteni tisztelet alatt egy ingó lámpa nézésébe merült el s érverését számolva észrevette, hogy a lengések tartama független a lengési ívek nagyságától, akkor még nem képzelte senki, hogy e felfedezés

* Ez évben a természettudományi intézetek építkezésének költségein kívül még kisebb összegek utalványoztattak a kórházak és az állattani gyűjtemény számára.

alapján az ingaórák segélyével az időmérésnek ama korban lehetetlennek látszó pontossága fog elértni, s hogy a viharok által földünk legtávolabb vizeibe hányatott tengerész ez által képesítve lesz a hosszúsági fokot meghatározni, mely alá hajója jutott.

A ki tudományt keresve, közvetlen gyakorlati hasznot hajtás, az csaknem biztos lehet, hogy hiába fárads. Egyedül a természeti és szellemi erők törvényszerű működésének teljes ismerete és teljes megértése lehet az, mit a tudomány elérni törekszik. Az egyes buvár meg van jutalmazva az öröm által, melyet az új felfedezések, mint a gondolat megannyi vívmányai felett érez, az aesthetikai szépség által, mely az egyes ismeretek közötti szellemi összefüggés s azoknak egymásból folyó következtetéseiben mint a szellem uralmának nyomdokaiban nyilvánul; meg van jutalmazva azon öntudat által, hogy a tudomány tőkájéhez, melyen az embernek a külvilág feletti uralma alapul, maga is ereje szerint hozzájárult. Igaz, hogy nem mindig számíthat oly elismerésre és jutalmazásra, mint minőt műve érdemelne. Nem egy, kinek halála után szobrot emeltek, boldog leendett, ha az arra fordított összegnek báresak tizedrészét is kezébe adták volna. De be kell ismernünk, hogy a közvélemény a tudományos felfedezések értékét ma sokkal örömetesebb ismeri el, mint előbb, s hogy azon esetek, midőn jelentékeny tudományos haladások előmozdítóinak sinlődni kellett, mindig ritkábbak és ritkábbak lesznek; sőt hogy Európa uralkodói és népei általában elismerték ama kötelezettségüket, miszerint a kitünő vívmányokat a tudomány terén megfelelő állások vagy különösen e célra rendelt nemzeti díjazások által kell jutalmazniok.

A tudományoknak annyiban, hogy a szellem uralmát a külvilág fölött megállapítani akarják, közös céljuk van. Mig a szellemi tudományok közvetlenül azon fáradsnak, hogy a szellemi élet tartalmát gazdagabbá és érdekesebbé tegyék s a jót a rosztól elválaszszak, addig a természet-

tudományok az embert a rá kívülről nehezedő szükségek terhe alól mind jobban és jobban felszabadítva, közvetve ugyanazon cél felé törnek. Minden egyes buvár saját körében működik, azon feladatokat választván, melyekre eszejárása és képzettsége leginkább képesítik. De minden egyes buvárnak szem előtt kell tartania azt is, miszerint a nagy művet csak a többiek közreműködésével képes előbbre vinni, s hogy ez okból fő kötelességeinek egyike az, hogy fáradozásának eredményeit mások számára is könnyen hozzáférhetőkké tegye. Ekként másokat támogatva, ezek részéről is támogatásra fog találni. A tudomány évkönyvei nem egy példát szolgáltatnak arra, hogy az egymástól látszólag legtávolabb eső tudományszakok ily kölcsönös viszonyba léptek. Lássunk egy példát. A történeti chronologia lényegesen azon nap- és holdfogyatkozások csillagászati kiszámításán alapszik, melyek régi történetkönyvekben jegyeztettek fel. Viszont a csillagászat némely fontos adata, mint például a nap (Tag) tartamának változatlansága * és némely üstökös keringési ideje, régi történeti hireken alapszik. Újabb időben a physiologok, köztük különösen Brücke, az ember beszélő szerve által képezhető betűk rendszerének felállításával foglalkoztak, megkísértvén egy általános betűírás megállapítását is, mely minden emberi nyelvre alkalmazható lenne. A physiolog itt az általános nyelvtudomány szolgálatába lépett s már nem egy különösnek tetsző hangátalakulás magyarázatát adta, kimutatván, hogy az nem annyira az addig divatos euphonia törvényéből, mint inkább a száj állásainak hasonlatosságából következik. Az általános nyelvtudomány pedig a történet előtti idők hírmondója lett, fényt vetvén az egyes néptörzsek rokonságára, szétválásaira

* Újabb számítások azt mutatják, hogy a napnak tartama vagyis a föld egy körülforgásának ideje ma másodpercczel hosszabb, mint a 720-ik évben Kr. sz. előtt.

Ford.

és vándorlásaira s azon műveltségi fokra, melyen elszakadásuk idejében álltak. Mert azon tárgyak nevei, melyeket már akkor megnevezni tudtak, a későbbi nyelvekben közösen előfordulnak. A nyelvek tanulmánya ekként történeti híreket közöl oly időkből, melyekből egyéb okmányok nem maradtak. Nem feledkezhetünk meg itt a segélyről sem, melyet az anatóm régi szoborművek vizsgálatánál a szobrásznak vagy a régésznek nyújt. Ha szabad saját újabb dolgozataimról szólanom, megemlíthetem, hogy a hang physikája és a hangérzések physiologiája zenei rendszertünk megállapítására, tehát egy lényegesen az aesthetika körébe eső feladat megoldására vezetett. Az érzési szervek élettana egyáltalában szoros összeköttetésben áll a lélektannal, a mennyiben ez az érzéki észrevételek körében oly psychikus folyamatok eredményeit tünteti elő, melyek a magát vizsgáló öntudat körébe nem esnek, s így a tisztán psychologicali önvizsgálat közben szükségképen rejtve maradnak.

Csak a legfeltűnőbb s legkönnyebben jellemezhető példákat sorolhattam itt föl mindazok közül, melyekben a tudományok együttes működése nyilvánul, s kényszerítve voltam ez által a lehetőleg távol álló tudományok közötti kapcsolatokra utalni. Sokkal természetesebb még az a befolyás, melyet minden tudomány a hozzá legközelebb állóra gyakorol; magából érthető ez, s erről ezért szólanom sem kell, mert azt saját tapasztalatából bárki felismerheti.

Tekintse magát azért mindenki ama közös nagy mű munkásának, mely az egész emberiség legnemesebb érdekeit tűzte ki céljául; s ne keresse fáradozásának jutalmát saját tudvágyának s előnyeinek vagy dicsszomjának kielégítésében; így aztán sem a jutalmazó öntudat, sem pedig polgártársainak elismerése el nem fog maradni. Az egyes buvárokat, valamint az egyes tudományágakat, közös érdekeik s közös céljuk előmozdítása végett mindig élénk érintkezésben tartani: ez a szép és nagy feladat, mely az

egyetemek osztályrészeül jutott, s ezért szükséges, hogy a négy facultás mindig karöltve haladjon. Ily értelemben iparkodjunk mi is e nagy feladat érdekében megtenni mindent, mit erőnkhez mérten tenni bírunk.

M Ű S Z Ó T Á R

„A természettudományok viszonya a tudományok összességéhez“ czimű előadáshoz.

Élettan, *Physiologie*.

Erzési szervek élettana, *Physiologie der Sinnesorgane*.

Faji fogalom, *Gattungsbegriff*.

Feltevés, *Hypothese*.

Górcsővi boncztan, *Mikroskopische Anatomie*.

Nehézkesedés, *Gravitation*.

Hallócsontocska, *Gehörknöchelchen*.

Látó ideg, *Selnerv*.

Belgyógyászat, *Klinische Medicin*.

Okszerű összefüggés, *Causalnexus*.

Összehasonlító nyelvészet, *Vergleichende Sprachforschung*.

Szellemi tudományok, *Geisteswissenschaften*.

Szőrzet, *Behaarung*.

GOETHE

TERMÉSZETTUDOMÁNYI MUNKÁIRÓL.

Előadatott

a königsbergi német egylet ülésén, az 1853-ik
évtavasán.

Goethe, kinek nagy terjedelmű tehetsége különösen azon értelmi tisztaságban nyilvánult, melylyel a valót, az emberi élet és a természet köréből, minden részleteivel s eleveniségével együtt szavakba birta önteni, épen szellemének eme jellemző irányzata által a természettudományok tanulmányozására indíttatott, s a mint annyira önálló szellemétől várni lehetett, nem elégedett meg azzal, hogy felvegye azt, mit másoktól tanulhatott, hanem fejlesztésökhöz maga is, s pedig nagyon különös módon, hozzá járult. Tevékenységét a leíró és a physikai természettudományokra fordította egyaránt; erről tanuskodnak egyrészt növénytani és csonttani értekezései, másrészt színelmélete. E munkála-

tok első gondolatcsirái még a mult század utolsó évtizedében keletkeztek, bár kidolgozásuk s kifejezésük többnyire későbbi korú. Azóta a tudomány nagy mértékben haladt előre, egy része egészen új szint öltött magára, a buvárlatnak egészen új tereket nyitott meg, s elméleti képzeteiben sokféle változást szenvedett. Vizsgáljuk ez előadás folyamában a viszonyt, melyben Goethe dolgozatai a jelenkor természettudományához állanak, s iparkodjunk előtüntetni a közös vezérfonalat, mely rajtok átvonul.

A leíró természettudományoknak, ú. m. a növénytan, állattan, boncztannak s i. t. sajátos jelleme az, hogy feladatukat a tények roppant halmazának gyűjtése, kiválogatása s logikai rendbe szedése, egy szóval rendszerezése képezi. Munkájuk ennyiben alig különbözik a szótárkészítő munkájától, s rendszerük is jóformán csak levéltár, melyben az okiratok úgy vannak rendezve, hogy a kívántat kiki minden pillanatban megtalálhassa. E munka gondolatdúsabb része s tulajdonképeni érdekessége jóformán csak akkor kezd előtűnni, midőn a tudós a látszólag összefüggés nélküli halmazban a törvényszerűség rejtett fonalát követvén, tárgyát kapcsolatos egészszé iparkodik alakítani, melyben minden egyes tény a maga helye és jogosultsága szerint méltányolva, az egészszel való összefüggése által még érdekesebbé válik. Költőnk rendező és sejteleműs szelleme tevékenységének megfelelő tért talált itt, s még a kor is kedvező volt neki. A növénytanban s az összehasonlító boncztanban már elég anyagot talált összegyűjtve és rendezve arra, hogy az egészet áttekintvén, szellemében bizonyos általános érvényű törvényszerűségnek sejtelve keletkezzék; míg ama kor tudósai e tekintetben minden vezérfonal nélkül tévelyegtek s a száraz lajstromozás fáradalmi által nagyrészt teljesen igénybe véve, a távolabb fekvő szempontokra még gondolni sem mertek. Goethe-re várt a nagy feladat, hogy e tudományok mezejében két termékeny eszmét vessen el.

Ez eszmék közül az első az, hogy a különböző állatok bonczatani szerkezetében mutatkozó különbségek mind egy közös alapszerkezet vagy typus változatainak tekintendők, melyek a különböző lakhely, élelmiszerek és életmód igényeinek felelnek meg. Az indító ok, mely e következtetésekben gazdag eszme felismerésére vezetett, látszólag nagyon jelentéktelen volt, s már az 1786-ban az állközötti csontról irt értekezésből kiviláglik. Régen ismert tény volt már az, hogy a felső állkapocs valamennyi gerincezes állatnál (t. i. az emlősök-, madarak-, hüllők- és halaknál) mindkét oldalról két csontdarabból áll, t. i. az ú. n. felső állcsontból és az állközötti csontból. Az előbbi az emlős állatoknál a záp- és szemfogakat, az utóbbi pedig a metsző fogakat tartja. Az embernél, ki minden egyéb emlős állattól a kinyló arczorr hiánya által különbözik, a felső állkapcsot mindkét oldalról csak egy-egy csont, a felső állcsont képezi; valamennyi fog ebben van. Goethe azonban emberi koponyákon is talált ama varratok gyenge nyomaira, melyek az állatoknál a felső állcsontot s az állközötti csontot összekötik, s abból azt következtette, hogy az állközötti csontok eredetileg az embernél is ki vannak fejlődve, s csak később forradnak össze a felső állcsonttal. Mi több, ezen látszólag jelentéktelen tény öt rövid idő alatt, a szárazsága miatt rosz hírben álló osteologia terén, az érdek egy új és gazdag forrásának felfedezésére vezet. Azon tény, hogy az ember s az állatok hasonló részekkel birnak, ha azokat kitartoan hasonló czelokra használják, nem volt már új és meglepő. Ez irányban már Camper iparkodott a szerkezet hasonlóságának nyomait egész a halakig követni. De hogy e hasonlóság, legalább lényegében véve, még akkor is fennáll, midőn az a befejezett emberi test igényeinek meg nem felel, sőt még akkor is, midőn annak az elkülönítve keletkezett részek utólagos összenövődése által kell ez igényekhez alkalmazkodnia, ez Goethének elegendő volt, hogy szellemi

szemei előtt messze kiterjedő láttér nyíljék meg. Folytatott tanulmányok csakhamar meggyőzték őt új nézetének általános érvényességéről, úgy hogy 1795- és 1796-ban az ott feltárult eszmét már pontosabban tudta körvonalozni s az összehasonlító boncztan általános bevezetésének vázlatát (*Entwurf einer allgemeinen Einleitung in die vergleichende Anatomie*) írta meg. Legnagyobb határozottsággal és világossággal tanítja e művében, hogy az állatok szerkezetében mutatkozó minden különbséget egy közös alaptypus változatainak kell tekintenünk, melyek egyes részek egybeforradása, átalakulása, nagyobbodása, kisebbedése vagy teljes megsemmisülése által jönnek létre. E gondolat az összehasonlító boncztan jelen állásában tetteleg e tudomány vezéreszméje lett. Nincs az sehol jobban és világosabban kimondva s később is csak kevés lényeges változásokat szenvedett, melyek közül a legfontosabb az, hogy ma a közös typus fogalma nem az egész állatvilágra nézve együttesen, hanem a Cuvier által megállapított főcsoportok mindenikére nézve külön-külön szolgál alapul. Goethe követőinek szorgalma sokkal gazdagabb, jól kiválasztott anyagot hordott össze, a részletekben kipuhatolván és kidolgozván azt, mit ő csak általánosan vázolhatott.

A másik vezéreszme, melylyel Goethe a tudományt gazdagította, az itt leirthoz hasonló analógiát mondott ki egy és ugyanazon szerves lény különböző részei között. A legtöbb szerves lény egyes részek sokszoros ismétlődését mutatja. Legszebbettnöbb ez a növényeken, melyek mindannyian nagyszámú hasonló lomblevelekkel, hasonló viráglevelekkel, himszálakkal s i. t. birnak. A mint Goethe, saját vallomása szerint legelőször egy legyezős pálmán Páduában, észrevette, hogy milykülönféle átmeneteket tehetnek fejlődésük közben a növény szárlevelei, s miként fejlődnek az egyszerű gyökérlevelkéik helyett lassanként az összetett szárnyas levelek, attól fogva másutt is felismerte az átmeneteket a szár- és kehely- és a virág levelei, valamint

az utóbbiak és a porodák, méztartók és magképletek között. Így jutott a növények átalakulásának tanához, melyet 1790-ben tett közzé. Valamint a gerincezes állatok végtagjai majd karokká, mint az ember- és majomnál, majd körmös talppá, majd csülkös előlábbá, majd úszonynyá, majd szárnynyá alakulnak, mindig hasonlóan tagokra osztva, s a törzsessel hasonlóan egybekötve, ép úgy a levél is, majd mint csiralevél, lomblevél, majd mint kehelylevél, viráglevél, poroda, méztartó, nőszał vagy magburok sat. tűnik elő, keletkezését és összetételét illetőleg mindig némi hasonlatosságot mutatván, s mindig készen arra, hogy rendkívüli körülmények között egészen más alakot öltön. Példát találunk erre a tömötten telt rózsáknál, melyekben a részben félig, részben egészen viráglevelekké alakult porodákat könnyen felismerhetjük. Goethe felfogásának e módja a mai napig tökéletesen meghonosult a tudományban s a botanikusok általános elismerésének örvend, bár egyes pontok tisztába még nem hozattak, így például az a kérdés, vajjon a magot levélnek vagy ágnak kell-e tekinteni.

Az állatok között legfeltűnőbb a hasonló részekből való összetétel az ízállatok, tehát például a rovarok és gyűrűs férgek nagy csoportjában. A rovarálcza, s a lepke hernyója egyenlő testrészek, az úgynevezett izek nagy számából van összetéve; csak az első és utolsó iz mutat némi eltérést a többitől. Kifejlődött rovarrá alakulásuk közben világosan szembetűnik, miként fejlődnek az eredetileg egynemű részek szembetűnőleg különböző részekké, a mint azt Goethe a növények átalakulásáról szóló tanában megállapította. A hátsó test izei eredeti egyszerű alakjukat megtartják, a tor izei azonban jelentékenyen összehúzódnak, s lábakat és szárnyakat fejlesztenek, míg a fej izeiből állkapcsok és csápok nőnek ki, úgy, hogy a kifejlődött rovarnál az eredeti izek csak a hátsó testben ismerhetők fel. A gerincezes állatoknál az egynemű részek ismétlődése a gerincezoszlopban van kijelelve, bár az a külalakban többé

fel nem ismerhető. Egy szerencsés pillantás, melyet Goethe egy 1790-ben a velencei Lido homokjában véletlenül talált, félig megrepedt bányakoponyára vetett, arra tanította őt, hogy a koponyát is nagyon megváltozott csigolyasornak lehet tekinteni. Első megtekintésre mi sem lehet különbözőbb, mint az emlős állatok tág, egynemű s lapos csontok által határolt koponyaürege és a gerincoszlopnak keskeny, hengeralakú csőve, mely rövid, tömör és sokszorosán fogazott csontokból van összetéve. Valóban szellemdús pillantás kell arra, hogy az emlősállatok koponyáján a kitágított és átalakított csigolyákat felismerjük. Hullóknél és halaknál e hasonlatosság inkább szembeötlik. Goethe ez eszméjét sokáig magával hordozta, mielőtt azt közzétette; úgy látszik, előnyös fogadtatására nem igen számított. Időközben és pedig 1806-ban Oken is felismerte azt, a tudományba bevezette, s e miatt Goethével elsőségi vitába keveredett, midőn ez 1817-ben, miután az eszme már tetszésre talált, kinyilatkoztatta, hogy ő már 30 évvel ezelőtt gondolt rá. Az egyes koponya-csigolyák száma és összetétele felett még ma is tart a vita, az alapeszme azonban megdöntetlen maradt.

Különben úgy látszik, hogy nézetei az állatok közös szerkezetét illetőleg a tudomány fejlődési menetére közvetlen befolyást alig gyakoroltak. A növények átalakulásáról szóló tan, mint költőknék közvetlen és elismert tulajdona, a növénytanba felvétellett. Osteológiai nézetei ellenben a szakembereknél eleinte ellenkezésre találtak, s csak később váltak közfigyelem tárgyává, midőn a tudomány, úgy látszik azoktól függetlenül, ugyanazon eredményhez vezetett. Maga panaszoja, hogy első eszméi a közös alaptervet illetőleg akkor, midőn velük foglalkozott, csak ellenmondással és kételyvel találkoztak, s hogy még az oly frissen felvillanó eredetiségű szellemek is, mint a Humboldt testvérek, csak bizonyos türelmetlenséggel hallgattak rá. Különben a dolog természetében fekszik, hogy az elméleti nézetek a természet-tudományok körében a szaktársak figyelmét csak akkor vonják

magukra, ha összes bizonyító érveikkel együtt állíttatnak elő, s ez által érvényességüket szigorúan kimutatják. Mindenesetre Goethe-t illeti azonban az érdem, hogy először ismerte fel a vezéreszmét, mely felé a nevezett tudományok fejlődési menete azontúl irányult, s melytől azok jelen alakjukat nyerték.

A mily nagy azonban az elismerés, melyet Goethe a leíró természettudományok körébe vágó művei által kiérdemelt, oly kivétel nélküli az ellenmondás, melylyel a physikai tudományok körébe eső dolgozatai, s különösen színelmélete a szaktudósok összessége által fogadtattak. Nem lenne helyén, ha részletesen bebocsátkoznám itt az általa felébresztett vitába, s szándékom nem is egyéb, mint ama vita tárgyát előadni s kimutatni, mi volt annak rejtett értelme s tulajdonképeni jelentősége. Fontos lesz ezért Goethe színelméletének keletkezési történetére s első, legegyszerűebb fejlődési fokára visszapillantani, mert az ellentét már ott világosan szembe-tűnik, sőt el nem homályosíttatva az egyes tények s bonyolódott elméletek felett folytatott vita által, még könnyen és világosan felismerhető.

Maga Goethe szépen beszéli el a színelmélet történetének végét képező vallomásaiban, miként jutott a gondolatra, hogy azt kidolgozza. Nem tudva a festészi színezet aesthetikai alapelvei iránt tisztába jönni, feltette magában, hogy a színelmélet physikai részét fogja tanulmányozni, úgy, mint azt az egyetemen tanulta, maga ismételvén a kísérleteket, melyek annak alapját képezik. E szándékkal Büttner udvari tanácsostól Jénában egy tüveghasábot kér kölcsön, de azt, egyéb munkák által akadályoztatva, hosszabb ideig használat nélkül hagyja heverni. A tulajdonos, mint rendszerető ember, ismételt sikertelen figyelmeztetések után egy szolgát küld hozzá azon meghagyással, hogy a hasábot rögtön magával hozza vissza. Goethe szekrényéből előkeresi s szeretne legalább egy pillantást átvetni rajta. Találomra egy terjedelmes fehér falra tekint, azt várva, hogy

ott sok fény lévén jelen, azt csillogó színsorozatra fogja bontani. Már e gondolata is mutatja, mily kevésbé ismerte akkor Newton erre vonatkozó elméletét. Várakozásában természetesen csalódik. A fehér falon színeket nem lát, s azok csak ott tűnnek elő, hol sötétebb tárgyak határolják; helyesen észreveszi különben azt, a mit Newton elmélete is teljesen magyaráz, hogy a színek a hasábon át csak ott lépnek fel, hol sötétebb tárgy világosabbal érintkezik. Meglepetve az előtte új eredmény által s azon véleményben, hogy az Newton elméletével meg nem egyeztethető, a hasáb tulajdonosát türelemre kéri s kettőztetett szorgalommal és érdeklődéssel fog a munkához. Táblákat készít fehér és fekete mezőkkel; s a jelenetet sokféle változatban tanulmányozza rajtok, mindaddig, míg annak szabályait eléggé bebizonyítva véli. Erre állítólagos felfedezését egy ismerős physikussal közli, s azon kellemetlen meglepetés éri, hogy kísérletei nem újak és Newton ide vonatkozó elmélete által teljes magyarázatot nyernek. E magyarázat hangzik feléje minden szakértő szájából csaknem ugyanazon szavakkal; ezt hallotta még a lángeszű Lichtenberg től is, kit sokaig hiába iparkodott megtéríteni. Newton iratait tanulmányozza, bennök álkövetkeztetéseket vél találni, melyek állítólag a tévedést okozták volna. Ismerősei közül egyet sem bírván meggyőzni, elhatározta, hogy a nyilvánosság ítélőszéke elé fog lépni, s dolgozatait 1791-ben és 1792-ben, „Beiträge zur Optik“ czime alatt valóban közzé is tette.

Le vannak ott írva a jelenetek, melyeket, a hasábon keresztül tekintve, fehér mezők fekete alapon, s viszont feketék fehéren, továbbá színes mezők fekete vagy fehér alapon mutatnak. A kísérletek eredményét illetőleg közte s a physikusok közt nincs vita. Szigorú természethűséggel és élénkséggel írja le a látott jeleneteket, s minden részletet; könnyen és kellemesen áttekinthető módon rendezi azokat; s itt is, mint mindenütt a tények terén, az elő-

adás nagy mesterének bizonyul. Kimondja ott, hogy az előadott tényeket Newton elméletének megezáfolására elégségeseknek tartja. Különösen két pont az, melyben megütközik, t. i. először az, hogy egy terjedelmes fehér felület közepe a hasábon keresztül tekintve fehér marad, és másodszor az, hogy egy fekete csik fehér alapon szintén színekre bontható el.

Newton színelmélete azon a feltevésen alapul, hogy különböző fénynekem léteznek, melyek a többi közt a szemre gyakorolt színbenyomás által is különböznek. Így vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya és köztük átmeneteket képező színeket ismerünk. Különböző színű fénynekemeket keverve, kevert színeket nyerünk, melyek vagy az eredeti színek valamelyikéhez hasonlóak vagy új színezeteket mutatnak. A fehér ez elmélet értelmében nem más, mint a színek összességének meghatározott arányok szerinti keveréke. A kevert színekből s a fehérből az egyszerű színek mindenkor kiválaszthatók, míg ez utóbbiakat tovább elbontani vagy átváltoztatni nem lehet. Az átlátszó és átlátszatlan földi testek színei e szerint akként jönnek létre, hogy fehér fény által megvilágítva, ennek bizonyos színes részét megsemmisítik, a többi fényt pedig, melyben a fehér keverési arányai megzavartattak, az észlelő szemébe küldik. A vörös üveg tehát azért látszik vörösnek, mert csupán a vörös sugarakat bocsátja át. A színezet létrejöttének oka ekként a fény keverési viszonyának megváltoztatásában keresendő, s így eredetét a fényben találja, nem pedig a testekben, melyek előtünésére csak az alkalmat szolgáltatják.

A hasáb a rajta áteső fényt megtöri, azaz utjából bizonyos szöglettel kitéríti; Newton szerint a különböző színű egyszerű fénynekem különböző törékenységgel bírnak, s így a törés után különböző utakat követve, egymástól elválnak. Valamely elenyésző kicsiny méretű fényes pont, a hasábon keresztül tekintve, azért látszik helyéből eltolva s egy színezett vonallá, az u. n. színképpé kihúzva, mely az

egyszerű színeket a már említett sorrendben tünteti elő. Midőn a hasábon át valamely szélesebb fényes felületre tekintünk, akkor az azon belül fekvő pontok színeképei úgy esnek össze, hogy — mint azt egyszerű geometriai okoskodások mutatják — a színek mindenütt ép azon arányban fedik egymást, mely a fehér létrejöttére szükséges. A színek csak a szélek táján nyúlik ki, s így a fehér felület eltolódva, egyik szélén kék és ibolya, másik szélén sárga és vörös szegélylyel tűnik elő. A fekete csik, két fehér felület között, ezek színes szegélyei által egészen be lehet fedve; s ilyenkor ott, hol összeérnek, a vörös és ibolya bíbor színné keveredik; a színek tehát, melyekre a fekete csik elbontva látszik, nem a fekete, hanem a környező fehér felülettől erednek.

Goethe az első perczben bizonyára nem emlékezett eléggé Newton elméletére, hogy annak alapján az említett tények physikai magyarázatát megtalálja. Később azonban s pedig sokan s lehetőleg értelmesen közölték vele e magyarázatot, mert arról többször úgy beszél, hogy abból kiviláglik, miszerint azt maga is tökéletesen megértette*. E magyarázatot azonban annyira elégtelennek tartja, hogy még mindig amaz állítása mellett kardoskodik, miszerint a felsorolt tények mindenkit, ki azokra pillant, Newton elméletének teljes helytelenségéről győzhetnek meg, s még is sem ezen, sem későbbi polemikus irataiban nem említi azt, mely pontjában elégtelen e magyarázat. Nem is tesz egyebet, mint hogy újra meg újra állítja annak teljes képtelenségét. S még is nem értem, miként tagadhatja valaki, bármily nézete lenne is a színekre vonatkozólag, hogy Newton elmélete mindig szigorúan következetes nem maradna, vagy hogy egyszer elfogadott feltevései a felsorolt tényeket teljesen sőt egyszerűen meg ne magyaráznák. Maga Newton fénytani

* A többi közt a színelméletéhez kapcsolt kilenczedik tábla magyarázatában, mely különösen Green ellen van irányozva.

irataiban gyakran említ oly nem tiszta szinképeket, melyeknek közepe fehér; de soha részletes tárgyalásukba nem bocsátkozik, bizonyára azon nézete folytán, hogy magyarázatuk feltevéseinek alapján magából értetődik. S úgy látszik, e nézetében nem is csalódott, mert midőn Goethe a figyelmet ama jelenetekre kezdte irányozni, akkor, mint maga is beszéli, mindenki, ki a physikához csak valamenynyire értett, változatlanul ugyanazon, Newton elveire alapított magyarázattal lépett elébe; a mi világosan tanusodik arról, hogy az mindenki előtt azonnal világos lett.

Az olvasót, ki a színelmélet minden pontjára nézve lépésről lépésre haladva felvilágosítást keres, könnyen a bizonytalanúság és aggodalom érzése fogja el, a mint hallja, hogy egy ritka szellemi képességű férfi folytonosan és a legnagyobb szenvedélyvel állítja a látszólag legvilágosabb és legegyszerűbb következtetések teljes képtelenségét. Az ilyen tovább és tovább keres és legjobb akarat mellett a képtelenségnek még látszatát sem találva, végre saját gondolkozó képességén kételkedik. De épen e nyílt és rideg ellenmondás az, mi Goethe álláspontját 1792-iki színelméletében annyira érdekessé és fontossá teszi. Elmélete ott még nincs egészen kifejtve, s mindössze néhány könnyen áttekinthető tény forog szóban, melynek helyességét a pártok különbség nélkül elismerik ugyan, de nézeteik által mégis homlokegyenest ellenkeznek; egyik sem tudja, hogy az ellenfél tulajdonképen mit akar. Az egyik oldalon a physikusok állnak, kik éles eszű buvárlataik, számításaik és felfedezéseik hosszú során át a fénytant a tökély oly fokára emelték, hogy az már a csillagászattal kezdett versenyezni. Mindannyian vagy közvetlen vizsgálataik közben, vagy ama biztosság által győződhetek meg Newton nézeteinek helyességéről, melylyel a legváltozatosabb szerkezetű eszközöknek s csoportosításaiknak hatását előre kiszámíthatták, s mindannyian megegyeznek a Newton-féle nézetek helyességének elismerésében. A másik oldalon egy férfi áll, ki nek ritka

szellemi tehetségét s rendkívüli képességét a tényleges valóságnak felismerésére nem csak a költészet, hanem a természettudományok leíró részének körében is el kell ismernünk, egy oly férfi, ki meggyőződésében annyira biztos, hogy az ellenmondást csak korlátozottság vagy rossz szándéknak tulajdoníthatja, s ki a színelméletre vonatkozó műveit többre becsüli mind annál, a mit a költészet terén teremtett*.

Az ellentét ridegsége azt gyaníttatja, hogy a dolog veleje sokkal mélyebben, talán amaz elvi ellentétben fekszik, mely a különböző szellemi irányzatok között áll fenn, s mely lehetetlenné teszi, hogy a pártos felek egymást megértsek. Iparkodni fogok a következőkben kimutatni azt, hogy hol keresendő véleményem szerint az ellentét magva.

Goethe, bár a szellemi tevékenység legkülönbözőbb terein megpróbálta erejét, legkiválóbb képessége szerint végre is költő volt. A költői úgy, mint bármely más művészi tevékenység lényege abban áll, hogy a művészeti anyag a gondolat közvetlen kifejezésévé alakíttassék. A tökéletes műtárgyban nem szabad a gondolatnak szigorú következtetések alapján előállani, hanem a közvetlen szellemi felfogás és a felindult kedély szülötte gyanánt, mintegy a művésznek öntudata nélkül, kell előtérbe lépnie. A közvetlen valóság alakjába öntve, a műtárgy szellemi tartalma a közvetlen érzéki benyomás egész eleveniségével lép elő, de egyszersmind elveszti amaz általános jelentőségét és értelmét, melyet a fogalom alakjában előadva nyer. A költő, ki művei bámulatos erejének forrását a szellemi tevékenység e különös nemében találja, azt másutt is iparkodik érvényesíteni. Nem törekszik ő a természetet szemlélet alá nem eső fogalmak által értelmezni, hanem mint valamely kész műre mekkor áll vele szembe, melytől elvárja, hogy szellemi tartalmát a fögékony szemlélő előtt itt vagy ott maga feltárja. Így Velen-

*) L. „Eckermann's Gespräche“.

ezében a Lidón a szétrepesztett báránycoponya megpillantásakor, midőn a koponya csigolya-elméletének eszméje születik meg agyában, azt veszi észre, hogy az által egyszersmind régi tapasztalat által megerősödött hite frissült fel, mely szerint a természetnek nincs oly titka, melyet valahol ne állítana világosan a figyelmes észlelő szemei elé. Ugyanazt találjuk első beszélgetésében Schillerrel a növények átalakulása felett. Schiller, mint Kant követője, az eszmét mindig keresésre méltó, de soha el nem érhető és soha a valóságban elő nem állítható czélnek tekintti. Goethe ellenben, mint igazi költő, a valóságban az eszmének közvetlen kifejezését keresi. Ő maga említi, hogy ez volt a válpont, mely őt Schillerrel ellentétbe állította. Ez által lépett közel viszonyba Schelling és Hegel természetbölcsezzetével is, mely ugyancsak azon feltevésből indul ki, hogy a természet a fogalom különböző fejlődési fokozatait közvetlenül eléünkbe állítja. Ez magyarázza azt is, miért védték Hegel és tanítványai oly melegen Goethe természettudományi nézeteit. Az említett természetnézet Goethe részéről folytonos megtámadásokra adott okot az összetett kísérleti módszerek ellen. Szerinte, a mint az idegen kéz a valódi műremeket csak rontani képes, épűgy a kísérlettevő a természetet összhangjában addig zavarja, kinozza és gyötri, míg az valódi képét elrejtve, torzalakban áll a rendháborító elé. Mert a

Még fényes nappal is titokteli
Természet fátyolát nem engedi.
A mit kitárni nem akar eszednek
Csavarral, rúddal rajta nem veszed meg.

Ez értelemben gúnyolja Newton t, ki színeképeit sok keskeny hasadékon és üvegen préseli át, és dicsőíti ama kísérleteket, melyeket szabad ég alatt tiszta napfényben lehet eszközölni, s melyek szerinte nem csak rendkívül könnyen

kivihetők és gyönyörködtetők, hanem egyszersmind rendkívüli bizonyító erejűek is.

Szellemi tevékenységének költői irányzata már morfológiai munkáiban is világosan szembeötlik. Egyáltalában, ha megvizsgáljuk, mit ért el a tudomány azon eszmék által, melyeket Goethétől nyert, úgy nagyon különös eredményekhez jutunk. Ki sem fog a tagadás álláspontjára állni, ha azon átmenetek sorozatát látja, melyeken át a levél porodává, a kar szárnynyá vagy úszonynyá, a csigolya hátsó fejesonttá alakul. Az eszme, hogy a növénynek összes virágrészei csak átalakult levelek, oly törvényszerű összefüggést gyaníttat, melyet méltán meglepőnek mondhatunk. De próbáljuk csak a levél szervezetét leírni s annak lényegét akként meghatározni, hogy mind ama képződményeket egybefoglaljuk, s bizonyára zavarba fogunk jönni, mert a különös ismertető jelek eltűnnek és végre csak az marad hátra, hogy a levél tágabb értelemben véve nem egyéb, mint a növény tengelyének oldalkinövése. Ha tehát ama tételt, miszerint „a virágrészek csak átalakult levelek” tudományos fogalom alakjában akarjuk kimondani, úgy az abba megy át, hogy „a virágrészek a növény tengelyének oldalkinövései”, s annak kimondására nem is kell egy Goethe-re várnunk. Így némi joggal vetették a koponya csigolya elméletének szemére azt, hogy a csigolya fogalmát annyira kénytelen tágitani, hogy végre egyéb sem marad hátra, mint az, miszerint a csigolya nem más mint egy csont. Nem kisebb zavarba jövünk, ha világos tudományos fogalmak segélyével akarjuk kimondani azt, hogy miért felel meg valamely állat bizonyos része egy másik állat bizonyos részének. Az egyféle élettani használat annak oka nem lehet, mert ugyanaza csontdarab, mely az emlős állatnál mint apró, a sziklaesont mélyében elrejtett halló csontoeska lép fel, a madárnál az alsó állkapocs beillesztésére szolgál; de nem lehet az alak, a helyzet vagy az összeköttetés más részekkel sem az, a mi az identitásnak biztos jellemzésére szolgál. Az átmeneti foko-

zatok követése által mégis lehetséges volt a legtöbb esetben meglehetősen biztossággal kipuhatolni, mely részek felelnek meg egymásnak. Maga Goethe helyesen ismerte fel e viszonyt, s a koponya csigolya elméletének alkalmából azt mondja, hogy „az ilyen aperçu, az ilyen észrevétel, felfogás, képzelet, fogalom, eszme, nevezzük azt bárminek, mindig csak a beavatottak előtt lesz világos, mert egészben kimondhatjuk ugyan, de be nem bizonyíthatjuk, s bár részleteiben előtűntethetjük, mégis befejezett és kikerekített alakba önteni nem tudjuk.“ Így áll a dolog nagyjában még ma is. Világosabb lesz még e kérdés állása, ha átgondoljuk, mily álláspontot foglal el az élettan, mint az életfolyamatok okozatos összefüggésének kutatója az egynemű szerkezet eszméjével szemben. Azt kérdezhetné ez: helyes-e ama nézet, miszerint a föld geológiai fejlődése közben egy állatfaj a másikból keletkezett, s helyes-e, hogy pl. a hálnak mellúszonya lassanként karrá vagy szárnynyá alakult? Vagy készen teremtettek-e a különböző állatfajok, és hasonlóságuk onnét van-e, hogy a természet, például a gerincezes állatokra nézve, fejlődésük első lépéseit a tojástól kezdve, csak egyetlen egy minta szerint bírja előmozdítani, s szerkezetüknek később is fennálló analogiája nem csupán első fejlődésük egynemű folyamatának következménye-e? A tudósok nagy része jelenleg az utóbbi nézethez hajlandó csatlakozni*, mert a megegyezés a fejlődés első korában nagyon feltűnő. Így néha fiatal emlősök nyakán, ép úgy mint a halaknál, kopoltyúívek nyomait találjuk s csakugyan úgy látszik, hogy a felnőtt állatok megfelelő részei fejlődésük folyamában egy és ugyanazon mintára készülnek. Ez teszi az állatok fejlődési történetét, mint az összehasonlító boncztan elméleti nézeteinek ellenőret, annyira fontossá. Látjuk, miként válhatnék a közös típus eszméje az érintett élettani nézetek alapján határozott jelen-

* Ez természetesen Darwin a fajok keletkezéséről írt munkájának megjelenése előtt volt mondva.

tőségű fogalommá. Goethe nagy dolgot tett, midőn sejtette, hogy itt valami törvény van, s midőn e törvény nyomait éles észszel követte; de azt, hogy mi ez a törvény, nem ismerte fel, sőt nem is kereste. Az utóbbi feladat távol állott tevékenységének irányzatától; s erre nézve még a tudomány mai álláspontjából sem lehet biztos nézetet alkotni, sőt még azt sem igen tudhatjuk, miként kelljen a kérdést felállítanunk. Készek vagyunk tehát elismerni, hogy Goethe e téren mindent megtett, a mit akkor egyáltalában tenni lehetett. Már mondtam, hogy ő a természetet műtárgynak tekintette. Morphologiai tanulmányaiban ugyanazon szerepet játszsza, mint a műértő, ki szomorujátékot hallgatva, átérzi, hogyan függnék össze az egyes jelenetek, hogyan hozzák létre az összhatást, hogyan nyilatkozik bennök a közös terv, s gyönyörködik művészi szerkezetökben, a nélkül, hogy az egésznek vezéreszméjét szigorú fogalommá tudná alakítani. Ez utóbbi munka a műtárgy tudományos birálatának feladata, s lehetnek olyanok, kik, mint Goethe a természettel szemben, nem szeretik bonezolni a művet, mely nekik élvezetet nyújt, attól tartván, bár joggalannul, hogy az által csak élvezetüket zavarják.

Goethe a színelméletben hasonló álláspontot foglal el. Láttuk, hogy ellenkezése a physikai elmélettel szemben épen ott kezdődik, hol ez az elfogadott alapelvekből szigorú és kimerítő következtetéseket von. Világos, hogy nem azon ütközött meg, mintha Newton elmélete bár csak egy esetben is fennakadna; hanem megütközött a feltevéseken, melyeket az a magyarázat ezéjából tett, s melyeket annyira képteleneknek tart, hogy ez alapon az adott magyarázatot semmisnek mondja. Legesztelenebbnek tartja a gondolatot, hogy fehér fényt színesből lehessen összetenni. Mennyire sértette őt e feltevés, azt abból látjuk, hogy már vizsgálatainak első szakában * mily élesen gúnyolja a physikusok undorító, Newton-féle fehér színét.

* L. a vallomást a színelmélet történetének végén.

Newton ellen irányzott későbbi vitájában, mely csak akkor adatott ki, midőn saját színelmélete már be volt fejezve, inkább azt törekszik kimutatni, hogy a Newton által felhozott tények az ő elmélete alapján is magyarázatot találnak, hogy azért Newton nézete eléggé bebizonyítva nincs; nem pedig azt, hogy ez a tényekkel vagy önmagával ellenkezésben lenne. Saját nézetének nyilvánvalóságát azonban oly szembeötlőnek tartja, hogy véleménye szerint, annak előadása folytán, Newton elmélete magától összeroskad. Magukat a kísérleteket csak néhány pontban támadja meg. Némelyikét úgy látszik azért nem tudta ismételni *, mert eredményök a kivitelnél használt lencsék állásától is függ, s ő nem ismerte a geometriai viszonyokat, melyek a lencsék alkalmas elhelyezésére vonatkoznak. Azon kísérleteknél, melyek az egyszerű színes fénynek elválasztását a hasáb segítségével czélozzák, Goethe ellenvetései nem egészen alaptalanok, a mennyiben legalább az elkülönzött színek tisztítása ez uton alig lehetséges oly fokig, hogy a törés még egy hasábon át a széleken más színezetet ne mutasson. Az egyszerű színes fénynek ily tökéletes elkülönzése csak gondosan összeállított hasábokból és lencséből szerkesztett eszközök használata mellett lehetséges; de Goethe ezen kísérletek tárgyalásával adósunk maradt, bár azt egy függelékben szándékozott közzétenni. Ha az eszközök bonyolódott csoportosításával vádolnak, úgy gondoljunk ama fáradságos körutakra, melyek a vegyészt egyszerű testek tiszta előállításához vezetik, s nem fogjuk többé csodálni, hogy a hasonló feladatot a fényre nézve nem lehet kertben, szabad ég alatt, kezünkben egy egyszerű hasábbal, megoldani **. Goethe

* L. „Polemischer Theil“ § 47 és § 169.

** Meg kell említenem ez alkalommal, hogy az egyszerű színes fény szétbonthatatlanságáról s változhatatlanságáról, a mi Newton elméletének alapját képezi, magam is saját szemeimmel meggyőződtem, a mint vizsgálódásaim egyikének folyamában (Über D. Brewsters neue Analyse

az ő elmélete értelmében, kereken tagadni kénytelen, hogy tiszta színes fényt lehessen előállítani. Dolgozott-e valaha eszközökkel, melyek e feladat megoldására alkalmasak, az iránt tisztába nem jöhettünk, mert az ígért függelék soha létre nem jött.

Hogy megismerjük a szenvedélyességet, melylyel a különben annyira udvarias Goethe Newton ellen kikel, a színelmélet polemikus részének néhány kifejezésére utalok, melyben a physika és astronomia legnagyobb embere felett gúnyolódik. Ilyenek: — „hihetetlenségig szemtelen“ — „világos képtelenség“ — „gyermekes magyarázat“ — „mily csodálatra méltó a járó székbeli tanulóknak“ — „de látom hogy hazugságokra van szükség s pedig minden mértéken felül.“

Goethe a színelméletben is hű marad nézetéhez, hogy a természet saját eszményi tartalmát felfogható alakban állítja elő s titkait annak helyén maga föltárja. Ez okból a physikai tárgyak vizsgálatánál az észlelt tényeket oly módon tartja csoportosítandóknak, hogy egyike a másiknak magyarázatára szolgáljon, s hogy az egésznek összefüggése ekként felismerhetővé váljék, a nélkül hogy az érzéki felfogások terét el kellene hagynunk. E követelés látszólag nagyon megnyerő, de lényegében egészen hamis. Hiszen valamely természeti tűnemény physikai magyarázata csak akkor lesz tökéletes, ha a keletkezési okot a tűnemény alapjául szolgáló s benne működő természeti erők legtávolabbjaira vissza bírjuk vezetni. A mennyiben pedig az erőket magukban soha, hanem mindig csak hatásaikban észleljük, annyiban a természeti jelenségek magyarázatánál mindig el kell hagynunk az érzékiség terét és észlelés alá nem eső, csak fogalmak által meghatározható dolgokkal kell foglal-

des Sonnenlicht's. Poggendorf's Annalen, 86. köt. 501. lap) kényszerítve voltam a színes fény tisztaságát a lehetőség határáig fokozni.

koznunk. Midőn a kályhát melegnek találjuk és megjegyezzük, hogy abban tűz ég, akkor kevésbé pontos, köznapi nyelvünkön azt látszunk mondani, hogy az utóbbi észlelet az előbbinek magyarázatául szolgál. Pedig lényegében véve nem mondunk az által egyebet, mint hogy: ott hol tűz ég, mindig meleget szoktunk találni, így ez alkalommal is a kályhában. Az észlelt tényt tehát egy ismertebb, általánosabb ténynek rendeljük alá, s ezzel megelégedvén, azt hamisan magyarázatnak nevezzük. Ez észlelet általánossága bizonyára nem vezet még az okok ismeretére; ez utóbbi csak akkor éretnek el, ha kikutatnók, mily erők működnek a lángban s miként függnek tőlük hatásaik.

De e lépés a fogalmak honába, melyet pedig okvetetlenül meg kell tennünk, ha a természeti jelenségek végokaig akarunk hatolni, visszariasztja a költőt. Költői műveiben nem szorulván közvetítő fogalmakra, a szellemi tartalmat közvetlen érzéki szemlélet alakjába kell öntenie. Mennél nagyobb a szemlélet érzéki elevenisége, annál nagyobb a költő diesősége. Szerinte épen így kellene a természettel elbánni. A physikus ellenben a láthatatlan atomok, mozgások, vonzó és taszító erők honának bár törvényszerű, de csaknem beláthatatlan zürzavarába törekszik őt vezetni. Szemében az érzéki benyomások nem megdönthetetlen tekintélyek. Megvizsgálja jogosultságukat s kérdezi: valóban hasonló-e az, mit érzékeink hasonlónak, s valóban különböző-e az, mit különbözőnek mondanak, s nem ritkán tagadó választ talál. A vizsgálat eredménye a dolgok mai állása szerint az, hogy míg érzéki szerveink a külső behatásokról tudósítanak, addig öntudatunk azokat egészen más alakban fogja fel, úgy hogy az érzéki észrevevés minemisége kevésbbé függ az észlelt tárgynak mint azon érzéki szervnek sajátosságaitól, mely által arról tudósítást nyerünk. A látó ideg bármiről tudósítson is, azt mindig fényérzés képében teszi, legyen az bár a napnak sugárzása, vagy ütés, mely szemünkre gyako-

roltatik, vagy elektrikus folyam, mely rajta átömlik. A halló ideg ellenben mindent hangéretté, s a bőrideg mindent hőmérséki és tapintási éretté alakít. Ugyanazon elektrikus folyam, melynek jelenlétéről a látó ideg fényérzés alakjában, az izló ideg pedig bizonyos savanyúság által tudósít, a bőridegben az égetés érzetét hozza létre. Ugyanazon sugarat, melyet, midőn szemünkre esik, fénynek nevezünk, ha bőrünket éri, melegnek mondjuk. Pedig a tárgyilagossá különbség, mely az ablakunkon beeső napfény és vaskályháink hősugárzása között van, nem egyéb, mint az, mely a fénynek vörös és kék sugarait egymástól megkülönbözteti, a mint t. i. a rezgési elmélet értelmében a vörös sugarak nagyobb rezgési idejük és kisebb törékenységek által különböznek a kékektől, ép úgy a kályhának sötét hősugarai még nagyobb rezgési idejük s még kisebb törékenységek által különböznek a vörös fénysugaraktól, bár azokkal minden egyéb tekintetben egyneműek. Mindezen sugarak, a világítók úgy, mint a nem világítók, melegíteni képesek; de csak egy kis részük, melyet éppen azért fénynek nevezünk, bir szemünk átlátszó részein áthatolni és látó idegünkhez érve, abban fényérzést előidézni. E viszonyt talán legjobban következőleg jellemezhetjük: az érzetek, melyeket érzékeink által nyerünk, csak jelképei a külvilág tárgyainak, s azokhoz oly viszonyban állanak, mint az írás és a szó az általuk kifejezett tárgyakhoz. Általuk tudósítást nyerünk ugyan a külvilág sajátosságairól, de az nem teljesebb annál, melyet a vaknak a színek felől szavak által adhatunk.

Látjuk, hogy a tudomány az érzékeség beesülésében ép az ellenkező álláspontra jutott, mint a költő, s hogy éppen Newton azon állítása, miszerint a fehér fény a színek összes színeiből van összetéve, volt az, mely ama később kifejtett nézet csiráját magában rejtette. Hiszen ama korban hiányoztak még a galvanikus észleletek, s így még nem nyílt meg az út azon szerep felismerésére, melyet az érzéki benyomások alkalmával az érző ideg játszik. A fehér, mely

minden színérzet között legegyszerűbb s legtisztábbnak látszik, a tisztátalanabb színek keverékéből álljon! A költő gyors sejtelme mintegy kiérezte, hogy e tétel egész rendszerét veszélyezteti, s ezért tartja azt oly képtelennek, hihetetlen abszurdumnak. Színelméletét kísérletnek tekinthetjük, mely oda irányul, hogy az érzéki benyomás közvetlen valóságát a tudomány erőszakoskodásai ellen megóvja. Innét ered a heveség, melylyel nézetét fejleszteni és megvédeni iparkodik, innét a szenvedélyes ingerültség, melylyel ellenét megtámadja, innét a túlnyomó fontosság, melyet e nézetének minden egyéb művei felett tulajdonít, s végre innét annak lehetetlensége, hogy a vitás felek egymást érveikkel meggyőzzék.

Vessünk most egy pillantást saját elméleti képzelmeire. Már az eddigiekből kitűnt, hogy Goethe a jelenségeket physikai értelemben egyáltalában nem képes magyarázni, a nélkül hogy saját elvének ellent ne mondana. Kiinduló pontját az képezi, hogy a színek mindig sötétebbek a fehéرنél, s hogy ezért mindig az árnyékúak némi jeleit viselik magukon (a physikai elmélet szerint azért, mert a fehér, mint az összes egyszínű fényneknek összege, mindenesetre fényesebb, mint egyes részeinek bármelyike). Szerinte a fény és sötétség, tehát a fehér és fekete közvetlen keverése, a szürkét adja, s így az egyes színeknek a fény és sötétség másnemű összehatása által kell létrejönni. Goethe azt gondolja, hogy ezt a gyengén zavaros közegek jelenségeiben találta meg. Az ilyenek rendesen kéknek látszanak, ha fény által megvilágítatva sötét ernyő előtt szemléltetnek, de sárgának akkor, ha azokon át fényes tárgyra tekintünk. Napról a levegőt látjuk a sötét égboltozat előtt kéknek, s a leáldozó napnak homályos légrétegen át szemünkbe eső sugarait sárgáknak vagy sárgászöröseknek. E tünemény physikai magyarázata, bár az nem is jó létre minden homályos testben, így például a homályosan esiszolt üvegben sem, tárgyunktól nagyon messze vezetne. Goethe véleménye

szerint a homályos üveg a fénynyel bizonyos testiességet és homályosságot közöl, mely a szín keletkezésére szükséges. Már ezen képzelet is zavarba ejt, ha azt physikai magyarázatnak akarjuk tekinteni. Mert képzelhetjük-e azt, hogy a fénynyel anyagi részecskék keveredjenek s vele együtt továbbrepüljenek? Ezen alaptüneteményre törekszik Goethe a többi színjeleneteket, különösen a hasáb által létrehozottakat visszavezetni. Az átlátszó testeket kivétel nélkül kissé homályosaknak tekinti, s felteszi, hogy a hasáb a képpel, melyet az észlelőnek mutat, homályosságából valamit közöl. E pontnál ismét nem igen tudjuk, mire gondoljunk. Goethe úgy látszik, azt gondolta, hogy a hasáb sohasem szolgáltat egészen éles képeket, hanem mindig csak elmosottakat és határozatlanokat, mert színelméletében azon mellékképek közé sorolja azokat, melyek párhuzamos üveglapokon és mézspát-jegeczeken át észlelhetők. Az igaz, hogy a hasáb által adott képek összetett fénynél elmosottak, de egészen élesek akkor, ha egyszerű fénynyel dolgozunk. Nézzünk csak, úgy vélekedik ő, a hasábon át egy sötét alaphól kiváló fehér felületet, s a kép a hasáb által eltolatni és tisztaságában zavartatni fog. A fehér felület előbbre álló széle sötét alap fölé fog tolatni, s mint zavaros fényesség a sötét előtt kéknek fog feltűnni, ugyanannak ezzel szemben fekvő széle pedig a fekete alap által fog befödetni, s így mint fényesség a zavaros sötétség mögött sárgászörösnek fog tetszeni. De, hogy a fehér felület előre tolt széle miért tűnik elő az alap előtt, a hátrábbálló pedig az alap mögött, nem pedig megfordítva, arról számot nem ad. Elemezzük azonban a képzetet tovább, s hozzuk tisztába azt, mit kelljen optikai kép alatt értenünk. Ha egy fényes tárgy képét a tükörben lerajzolva látjuk, az azért történik, mert a fény, mely abból kiindul, a tükör által úgy veretik vissza, hogy az, egy a tükör mögött álló, hasonló tárgyból látszik kiindulni, s ennek képe az, mely az észlelő szemében létrejön, s melyet azért valóban látni vél. Mindenki tudja, hogy a

képnek a tükör mögött semmi valóság nem felel meg; hogy még maga a fény sem jut el oda, hanem, hogy a tükrözött kép nem egyéb a geometriai helynél, melyben a visszavert sugarak, visszafelé meghosszabbítva, egymást metszik. Nem is várja azért senki, hogy a tükör mögötti kép bármi-féle valós hatást gyakoroljon. Épen így a hasáb is más helyzetben tünteti elő a tárgyak képeit, mint a melyet azok elfoglalnak. Más szóval a fény, melyet a tárgy a hasábhöz bocsát, ezáltal úgy töretik meg, mintha egy mellette fekvő tárgyból, az úgynevezett képből, indult volna ki. Ez a kép szintén nem reális valami; s nem egyéb, mint a geometriai hely, melyben a fénysugarak, visszafelé meghosszabbítva egymást metszik. S Goethe szerint e kép, eltolódása által, mégis reális hatásokat hozna létre. Az eltolt fényesség, szerinte, a zavaros testek módjára, kéknek tünteti elő a mögötte fekvő sötétséget, az eltolt sötétség pedig sárgászörösnek mutatja a fényességet, mely mögötte fekszik. Hogy Goethe a képet, lát-szólagos helyzetében, valóban tárgynak tekintí, az abból is kítűnik, miszerint magyarázatában felvenni kénytelen, hogy a fényes mező kék széle a vele együtt eltolódott sötét kép előtt, a vörös ellenben mögötte fekszik. Goethe itt az érzéki lát-szathoz hű marad és a geometriai helyet testies tárgynak tekintí. Ép oly kevésbé ütökzik meg abban, hogy a vörös és kék, egymást majd megsemmisítsék, mint például a hasábon át tekintett vörös mező kék szegélyében, majd pedig szép biborszinné egyesüljenek, például, midőn a vörös és kék szélek fekete mezők felett találkoznak. Még különösebb utakon kerülí ki a nehézségeket, melyeket Newton-nak összetettebb kísérletei állítanak elébe. Magyarázatait elfogadhatjuk, ha azokat csak a jelenségek képies érzékitéseinek akarjuk tekinteni, sőt el kell ismernünk, hogy azok eléggé jellemzők és szembetűnők; de mint physikai magyarázatok teljesen értelmetlenek.

Hogy Goethe színtanának elméleti része nem fekszik physikai alapon, azt ezek után mindenki el fogja ismerni,

s be fogja látni azt is, hogy költőnk a physikaitól egészen különböző felfogási módot iparkodott a természetbúvárlat körébe bevezetni, s miként jött erre. A költészetben nincs másra gondja, mint hogy „a szép látszatot“ keresse, mely az eszményt szemléllhetővé teszi; de nem törődik azzal, miként jö létre e látszat. Így a természetet is bizonyos szellemi tartalom érzékitett kifejezésének tartja. A physikus ellenben az emeltyűket, köteleket és csigákat keresi, melyek a színfalak mögött működnek. A gépezet látása, az igaz, zavarja a szép látszatot. Ezért szeretné a költő a köteleket és csigákat eltagadni, pedáns elmék szüleményeinek nyilatkoztatni, s a dolgot úgy előtűntetni, mintha a színfalak maguktól változnának, vagy csupán a műtárgy eszméje által vezéreltetnének. Az irány, melyet Goethe szelleme követett, eléggé indokolja azt, miért volt a költők között épen ő az, ki a physika ellen harezot indított. Más költők, képességük sajátsága szerint, lelkesedésükben vagy nem törődnek az ellenséges anyaggal, vagy örvendenek azon, hogy a szellem azt ellenállása daczára magának alárendelni tudta. Goethe, kit a környező való, subjectiv benyomások által, soha nem vakított el, csak ott érezheti magát kényelmesen, hol a költészet bélyegét még a rideg valóra is reá sütheti. Ebben fekszik épen költői műveinek sajátos szépsége, s ebben fekszik az ok, miért lép a küzdőterre azon gépezet ellen, mely őt költői élvezetében zavarni látszik, s miért iparkodik ellenét saját táborában megtámadni.

De az anyagi világ gépezetét nem győzhetjük le az által, hogy eltagadjuk, hanem csak az által, hogy a szellem ezéjainak alávetjük. Emeltyűit és kötélgépeit meg kell ismernünk, még ha ez a költői természetnézetet zavarná is, hogy azokat aztán saját akaratunk szerint kormányozhassuk, s ez az, mi a physikai kutatásnak az emberi művelődés szempontjából oly nagy jelentőséget és teljes jogosultságot ad.

Az előadottakból világos, hogy Goethe különböző természettudományi munkáiban a szellemi tevékenységnek mindig ugyanazon irányát követte; de, hogy a feladatok különbözők voltak, s így a ki meggondolja, hogy épen azon sajátságok, melyek őt az egyik téren a diesőség legmagasb fokára vezették, voltak azok, melyek a másikon hajótörését okozták, az talán hajlandóbb lesz a physikusokat a nagy költő egyes bámulóinak azon gyanúsítása alól felmenteni, mintha megalkodott csehögöjünkben a genius sugallataira hallgatni nem akarnának.

M Ű S Z Ó T Á R.

Állkapocs, *Kinnlade*.
 Állközötti csont, *Zwischenkieferbein*.
 Arezorr, *Schnauze*.
 Átalakulás, *Metamorphose*.
 Csápok, *Fühlhörner*.
 Csigolyák, *Wirbelringe*.
 Fog, *Zahn*. Szemfog, *Eckzahn*.
 Zápfog, *Backenzahn*. Metszőfog, *Schneidezahn*.
 Gerinczesek, *Wirbelthiere*.
 Gerinczoszlop, *Wirbelsäule*.
 Gyűrűs férgek, *Ringelwürmer*.
 Izállatok, *Geringelte Thiere*.
 Izok, *Leibesringel*.
 Izló ideg, *Geschmacksnerv*.
 Kehely (növényeknél), *Kelch*.
 Kopoltyú ív, *Kiemenbogen*.

Koponyatüreg, *Schädelhöhle*.
 Lábfej, *Pfote*.
 Logyezős pálma, *Fächerpalme*.
 Levél, *Blatt*. Szárlevél, *Stengelblatt*. Szárnyaslevél, *Fiederblatt*.
 Tőlevél, *Wurzelblatt*. Viráglevél, *Blüthenblatt*.
 Magburok, *Samenhülle*.
 Magképlet, *Samengebilde*.
 Mézedény, *Honiggefäß*.
 Méztartók, *Nectarien*.
 Nőszál, *Pistill*.
 Színkép, *Farbenspectrum*.
 Törzs (állatoknál), *Rumpf*.
 Uszony, *Flosse*.
 Varratok (a koponyán), *Nähte*
 (an *Schädeln*).

A ZENEI ÖSSZHANG

ÉLETTANI OKAIRÓL.

Előadatott Bonnban, az 1857-ik év telén.

Tisztelt gyülekezet!

Beethovennek, a zeneköltők óriásának szülővárosában, előadásom tárgyát alkalmasabban nem választhatom, mint ha a zenéről szólok. Azon uton haladva, melyre munkálataim az utolsó időben vezettek, iparkodni fogok, hogy önökkel közöljem azt, mit a természettan és élettan a rajnai tartományok legkedveltebb művészetéről, a zenéről és a zenei viszonyokról mondani tudnak. Eddigelé a zene távolabb feküdt a tudományos buvárlatok terétől, mint bármely más művészi szak. A költészet, festészet és szobrászat legalább tárgyakat veszik a tapasztalati világból; hiszen végre

is a természetet és az embert ábrázolják. Tárgyuk ezért igazságára és természetlenségére nézve tudományos bírálat alá esik; s nem tagadhatjuk, hogy a tudományos műítészet nem egy lépéssel haladt már előre azon okok kutatásában, melyek a műtárgyak szépiészeti hatását eredményezik, dacára annak, hogy fellengző szellemek a műítészet e jogosultságát határozottan kétségbe vonják. A zenében úgy látszik, még egyelőre azok véleménye irányadó, kik „örömeiket az ítész bonezkése által szétdarabolgatni“ nem engedik. E művészet, mely tárgyát nem az érzéki tapasztalatok köréből veszi, s mely nem iparkodik a külvilágot leírni, s azt legfeljebb csak egyes esetekben utánozza, ez által a tudományos buvárlat alól az alapot vonja el, melyet annak egyéb művészetek nyújtanak, s hatásaiban végre is épen annyira érthetatlenné és esodálatossá válik, mint a mennyire hatalmas. Ezért e művészetnek egyelőre csak is anyagára, úgy mint: a hangokra és hangérzetekre fogunk szorítkozni. Látni fogjuk, hogy a tiszta és következetes gondolkozás tudománya, a mennyiségtan, a zene physikai és technikai alappjainak kutatásában mily termékeny alkalmazásra talál; pedig e művészet játszi és gyengéd befolyásával, csaknem tárgy nélkül ringatja a kedélyt kiszámíthatatlan s leírhatatlan érzések honába. Oly bámulatos és mély titok ez, mely reám mindig vonzólag hatott. A general-bassus nem egyéb, mint az alkalmazott mennyiségtan egy neme; a hangközök és ütenyrészek felosztásában s i. t. az egész számok viszonyai — sőt néha a logarok is — játszanak szerepet. A mennyiségtan s a zene, a szellemi tevékenység e legélesebb ellentéte, mégis segítvén egymást, s egymással összeköttetvén, csaknem ama titokszerű következetesség kimutatására látszik rendeltetve, mely szellemünk minden tevékenységén átvonul, s mely a művészi génus felszólalásában is a titkosan működő észszerűségnek öntudatlan nyilvánulásait gyaníttatja.

A mint közelebről kerestem a szerepet, melyet a fül a hangok észrevevésében játszik, s így a hangtant élettani

szempontból kezdtem tárgyalni, egyes kérdések összefüggése azonnal világosabban látszott előtűnni. Midőn most azon eredmények köréből szándékozom egyet-mást felsorolni, melyekhez a physikai és élettani hangtan vezetett, törekedni fogok, hogy önökben legalább részben ébreszszem fel azon érdeket, melyet bennem a kérdések keltettek.

Az idő rövidsége kívánja, hogy egy főpontra szorítkozzam; de ezt úgy fogom választani, miszerint önök azon legjobban megismerhessék, mily jelentőséggel és mily eredményekkel dicsekednek az e téren eszközölt tudományos buvárlatok. Az összhangzás (consonantia) kérdését választom. Ismeretes tény, hogy az összhangzó hangok rezgés számai egymáshoz kiesiny egész számok viszonyában állanak. De miért? Mi köze van a kiesiny egész számok viszonyának az összhangzással? Régi talány ez, melyet az emberiségnek már Pythagoras állított, s mely eddig megoldatlan maradt. Lássuk, nem tudók-e azt a jelenkor tudományának segédeszközeivel megoldani.

Először is, mi a hang? Már a mindennapi tapasztalás arra tanít, hogy a hangzó testek rezegnek. E rezgést látjuk és érezzük, sőt erős hangoknál, a környező légnak zsibongását, még a hangzó testnek érintése nélkül is érezzük. A physika pontosabban kimutatja azt, hogy a kellő gyorsasággal ismétlődő lökések sorozata a levegőt rezgésbe hozván, abban hangot ébreszt.

A hang zenei hanggá akkor válik, ha a gyors lökések szabályosan egyenlő időközökben ismétlődnek, a légnak szabálytalan rázkódásai ellenben csak zörejt okoznak. Valamely zenei hang magassága a bizonyos időközben egymásra következő lökések számától függ; minél több lökés esett ugyanazon időre, a hang annál magasabb. Ez által a zenében elfogadott hangközök és a lég rezgéseinek száma között a már említett benső összefüggés állapittatik meg. Ha bizonyos időben egy hangnak kétszer annyi rezgés felel meg, mint egy másiknak, úgy ez


annak magasabb oktávja. Ha pedig az ugyanazon időre eső rezgések száma két hangra nézve $2:3$ viszonyban áll, úgy azok quintet képeznek, s egy nagy terczet akkor, ha e viszony $= 4:5$.

Szem előtt tartva, hogy a rezgések száma a $C E G C$ durakkord hangjaira nézve, $4:5:6:8$ számok arányában áll, könnyű lesz abból mind a többi hangviszonyokat leszámaztatni, ha ezen hangok mindegyikére egy új durakkordot építünk, melyre nézve a rezgési számok ugyanazon arányban állanak. E számítás alapján kitűnik, mennyire különböző a rezgések száma a hallott hangok körében. Egy hangnak oktávja kétszer annyi rezgést végez, mint az alaphang, s így kell, hogy annak második oktávja 4-szer, harmadik oktávja pedig már 8-szor annyit végezzen. Újabb zongoráink 7 oktávra terjednek; legmagasabb hangjuk e szerint 128 rezgést végez a legmélyebbnek egy rezgése alatt.

A legmélyebb hang C_1 , mely zongoráinkban foglaltatik, másodpercenként 33 rezgést végez. Ugyanazon hang ez, melyet a 16 lábnyi nyílt orgonasípok adnak, s melyet a zenészek contra- C -nek neveznek. E hang már a hallás határaihoz közel fekszik. Bizonyosan észrevették önök is, hogy e hangok tompán s rosszul csengenek, s hogy zenészeti magasságukat, hangolásuknak tisztaságát nem könnyű határozottan megítélni. Orgonán a contra- C erősebben hangzik, mint húrokon, de fülünk azért még itt sem biztos a hang magasságának megítélésében. Nagyobb orgonákon a contra- C alatt, még egy egész oktávot találunk, mely a másodpercenként $16\frac{1}{2}$ rezgést végző 32 lábnyi sípig terjed; fülünk azonban e hangokat csak gyenge moraj gyanánt érzi, s azokat egyáltalában annál könnyebben bontja el a hozzájuk tartozó egyes lökésekre, mennél mélyebbek. E hangok ez okból a zenében csak a szomszédos magasabb oktáv hangjainak erősítésére használtatnak, melyeknek ilyenkor a mélyebb hang jellegét kölesönzik.

A többi hangszerek, az orgona kivételével, bármennyire különböző eszközöket használnak is a hang előidézésére, a mélységnek határát mind ugyanazon a tájon érik el, mint a zongora. Lassabb és kellő erejű rezgéseket előidézni lehetne ugyan, de fülünk felmondja a szolgálatot, s az ilyen lassan egymásra következő lökéseket, csakis mint egyes lökéseket érezi, a nélkül, hogy azokat egy hanggá birná egyesíteni.

Savart francia természettudósnak sokszor említett állítása, miszerint egy külön e célra szerkesztett eszköz segítségével, másodpercenként 8 rezgést végző hangokat hallott, úgy hiszem, tévedésen alapúl.

A magasságot illetőleg a zongora a contra *C*-től számitott 7-ik oktávig, az úgynevezett ötször jelzett *C*-ig szokott kiterjedni. E hangot, melynek másodpercenként 4224 rezgés felel meg, a zenekar hangszerei közül csak a piccolo fuvola adhatja, sőt ez még egy hanggal magasabbra is mehet. A hegedű rendesen csak az ez alatt fekvő *E*-ig, 2640 rezgésig másodpercenként, szokott használtatni, eltekintve azon egetrázó virtuozok erő kifejtéseitől, kik a magasba törve iparkodnak hallgatóiknak új és hallatlan szívfájdalmakat okozni. Különbö az ilyen hősöket az ötször jelzett *C* felett még három egész oktáv kecségteti hallható és rendkívül fájdalmas hangjaival. Despretz  kiesiny, hegedűvonóval rezgésbe hozott hangvillák segítségével a 8-szor jelzett *C*-t másodpercenként 32770 rezgésűt, birta hallani. Itt a hangérzés határai elérve látszottak, s a hangközök megkülönböztetése az utolsó oktávokban már alig volt lehetséges.

A hang zenészi magassága csak az egy másodpercre eső rezgések számától függ, nem pedig keletkezésük módjától. Közönbös, vajjon e rezgéseket a zongora és hegedű rezgő húrjai, az emberi gége hangszálai, a harmonika érzynelvei, a klarinét, oboe és fagott nádnyelvei, fuvó hangszereknél a zenész ajkai, vagy mint a fuvalnál s orgona-

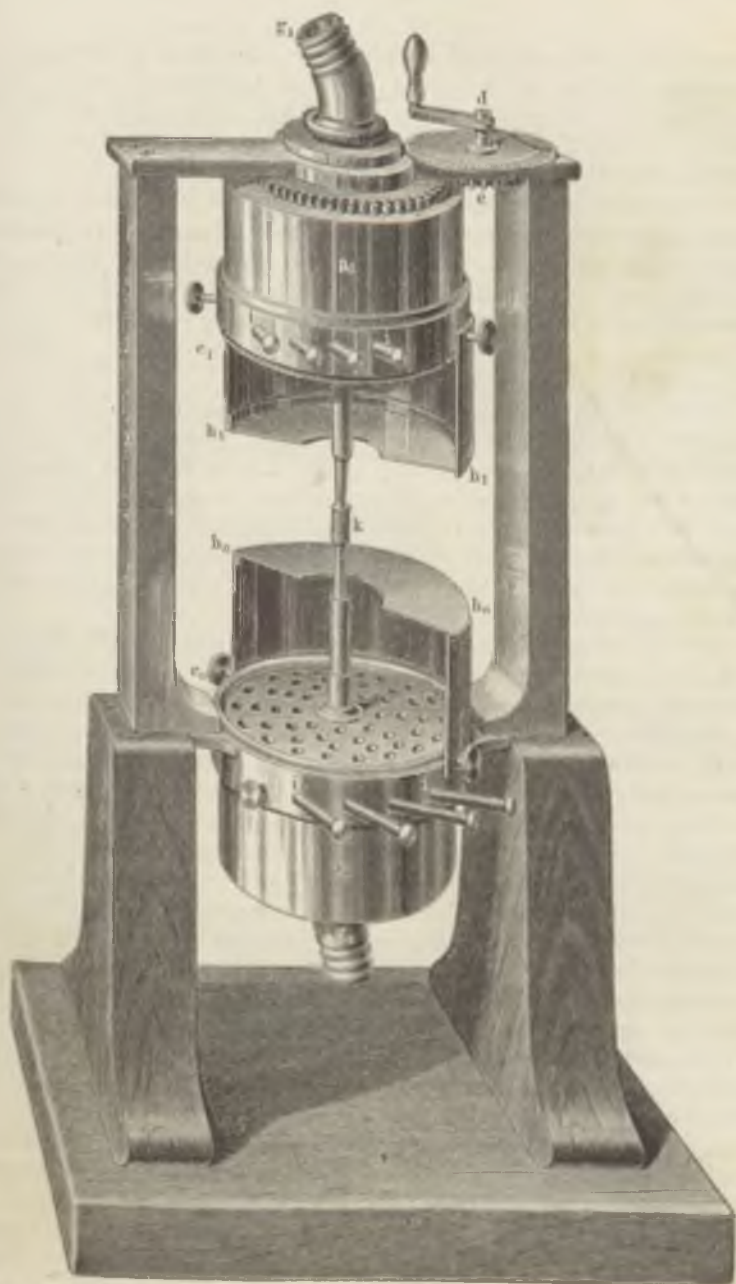
sípoknál a levegőnek az éles ajkakon végbemenő megtörése hozza-e létre.

Bizonyos rezgés-számú hangnak mindig bizonyos magassága van, akár mi nemű hangszerből indult is ki. A mi különben például a zongorának A hangját, a hegedű, fuvola, klarinét vagy trombitának A hangjától megkülönbözteti, azt hangszínezetnek nevezzük, s azzal később bővebben fogunk foglalkozni.

Az itt felsorolt tételek felvilágosítására, azon sajátosságos természetű zeneeszközt akarom önöknek bemutatni, melyet szirénának (1-ső ábra) nevezünk. Kiválóan alkalmas ez eszköz arra, hogy segítségével megállapítsuk mind azt, mi a rezgés-számok viszonyára vonatkozik.

Ha ez eszközt hangzásba akarjuk hozni, úgy a go és g_1 vezető csöveket a fújtatóval kötjük össze; a lég akkor az a_0 és a_1 sárgarézszekekre megy s azoknak átluggatott fedelén (c_0 és c_1) át ismét a szabadba áramlik. A szekekre belsejének összeköttetése a külső légkörnyezettel nem folytonos, mert a szekekre átluggatott fedelét ép oly módon átluggatott korongok fedik, melyek a könnyen forgó merőleges k tengelyhez vannak erősítve. Ábránkban c_0 táján csak az átluggatott korongot láthatni, míg a szekekre ép úgy átluggatott fedele közvetlenül alatta fekszik. A felső szekekre c_1 -nél csak a korongnak szélét lehet megkülönböztetni. Valahányszor tehát a korong lyukai a szekekre fedelének lyukai előtt állanak, mindannyiszor a lég szabadon fog kitörni. Ha azonban a korong, forgása által, oly állásba jön, melyben át nem fűrt részei a fedél lyukaira esnek, akkor a lég a szekekre fogva marad. Hozzuk most a korongokat gyors forgásba, úgy az illető lyukak kinyitása és becsukása gyorsan váltakozni fog. A kinyitás pillanatában a lég kitör, a becsukás idejében visszatartatik s így a szerkezet által a fújtatónak folytonos légárama szakgatott lég-lökések sorozatára bomlik. E lökések kellő gyorsasággal követvén egymást, hanggá olvadnak össze.

A mi eszközünkön, mely a hasonló fajtáknál tökéletesebben van felszerelve s mely ennek folytán a hangok csoportosításában amazoknál nagyobb változatosságra is van képesítve, a lyukak mindkét korongon négy sorban helyezvők el. Az alsó korong négy lyuksora 8, 10, 12, 18 nyílást tartalmaz, a felső korong lyuksoraiban pedig 9, 12, 15 és 16 foglaltatik. A szekekre fedelei ugyanilyen lyuksorozatokkal vannak ellátva, s mindegyikük alatt ugyancsak egy-egy, megfelelőleg átluggatott gyűrű van alkalmazva, melyet az $i i i$ szegek egyikének



segítségével, vagy úgy lehet állítani, hogy a megfelelő lyuksorozat a szekrény fedelén át belsejével szabadon közlekedjék, vagy úgy hogy attól el legyen zárva. Az *i i* szögek állítása által elérhetjük tehát azt, hogy a nyolcz lyuksorozat közül csak egy, vagy kettő, vagy három, tetszésünktől függő csoportosításban, szólaljon meg.

A *ho ho* és *hi hi* hengeralakú szekrények, melyeknek ábránk csak egyik felét mutatja, arra szolgálnak, hogy ráhangzásuk (Resonanz) által a különben éles hangot lágyabbá és kellemetesebbé tegyék. A lyukak a szekrények fedeleibe, valamint a korongokba ferdén vannak bevésve, mincképpen, mihelyest egy vagy több lyuksorozatot megnyitunk, a légáram maga megindítja a korongokat, s folyton gyorsabb és gyorsabb forgásba hozza.

Midőn be kezdünk fújni az eszközbe, eleinte csak egyes lökések puffanását halljuk, a mint a korong lyukai a fedél lyukai előtt elhaladnak. E lökések ntöbb, midőn a forgó korongok sebessége növekszik, mindig gyorsabban és gyorsabban követik egymást, körülbelül úgy, mint a meginduló gőzmozdony dübörgése; nemsokára zúgást és reszketést hallunk, mely folyvást sebesebb és sebesebbé válik. Végre megszólal a mély dörgő hang, a korongoknak növekvő sebessége mellett folyton emelkedvén és erősödvén.

Tegyük fel, hogy a korongok, a velők közlött sebesség folytán, másodpercenként 33 forgást végeznek, s hogy a 8 lyukkal ellátott sorozatot nyitottuk meg. Ez esetben, a korongnak egy forgása alatt, e sorozatnak minden egyes lyuka a szekrénynek minden lyuka mellett el fog haladni, s így a lég egy forgás tartama alatt 8-szor, egy másodperc alatt pedig 33×8 -szor, azaz 264-szer fog a szekrényből kitörni. A hang, melyet hallunk, a zenei skálának egyszer jelzett *c*-je lesz. Ha ellenben, ugyane forgási sebesség mellett, a 16 lyukas sorozatot nyitjuk meg, úgy a lég másodpercenként kétszer annyi, tehát 528 rezgést fog végezni; úgy, hogy az előbb hallott *c'*-nek magasabb oktávája, a kétszer jelzett *c''* keletkezik. Nyissuk meg egyidejűleg a 8-as és a 16-os sorozatot, úgy mindakét *c* hangozni fog, s meggyőződhetünk arról, hogy az oktáva teljesen tiszta együtthangzását halljuk. Vegyük most a 8-as és 12-es sorozatot, melyeknek rezgés számai 2:3 arányban állanak, s a tiszta quintet nyerjük. Ekként folytatva kísérleteinket a 12 és 16 vagy 9 és 12 sorozatok megnyitása quartokat, a 12 és 15 pedig nagy tercet hoz létre s i. t.

Eszközünkön azonban még egy oly szerkezet is van alkalmazva, mely lehetővé teszi, hogy a felső szekrény által adott hangokat kevés-
 sel magasabbra vagy mélyebbre hangoljuk. E szekrény ugyanis tengelye körül forgatható, s forgatása a *d*-nél alkalmazott forgatvány által lehet-
 séges. Ha most a felső szekrényt lassan forgatjuk, az alatt, míg vala

melyik lyuksorozat megfúvatik, úgy a hang kevésbé magasabbá vagy mélyebbé válik, a szerint, a mint a szekrény a koronggal ellentett vagy ugyanazon irányban mozog. Midőn ugyanis a szekrény lyukai a korong lyukainak élébe mennek, akkor egy-egy találkozásuk után a következő hamarabb fog létre jönni, s így kisebbedvén a rezgési idő, a hang magasabbá válik. Ennek ellenkezője történik a másik esetben.

Ila most lent a 8-as, fent a 16-os sor fúvatik meg, úgy a tiszta oktáva hangzik mindaddig, míg a szekrény nyugszik; de mihelyest a felső szekrényt forgásba hozzuk, tehát hangját megváltoztatjuk, az oktáva azonnal hamissá válik.

Ila fent a 12-es, lent a 18-as sort fújjuk meg, úgy a felső szekrény nyugvása közben a tiszta quintet halljuk; de a felső szekrény forgatása ez összhangzást érzékenyen megzavarja.

A szirénával eszközölt kísérletek ezek szerint a következőkre tanítanak:

- 1) a kellő gyorsasággal egymást követő léglökések hangot adnak;
- 2) mennél gyorsabban követik egymást, annál magasabb a hang;
- 3) hangok, ha rezgés számaik 1:2 arányban állanak oktávát, ha 2:3 arányban állanak quintet, ha 3:4 arányban állanak quartot képeznek s i. t. E viszonyok bármily csekély változása az összhangzás tisztaságát megzavarja.

Az eddigiekből látjuk, hogy a lég rázkódtatásai, fülünkre hatván, a hang érzetét okozzák, de csak addig, míg e rázkódások száma egy másodperczre vonatkoztatva bizonyos határok között, mintegy 20 és 32000 között fekszik.

Hogy ez érzet épen hangérzet, az nem ama légrezgések különös nemének, hanem egyedül fülünk és hallóidegünk különös érzési módjának következtése. Már előbb említettem, hogy erős hangoknál a lég rázkódását bőrünkön is érezzük. Még a siketnéma is észreveheti azon légmozgást, melyet mi hangnak nevezünk; pedig nem hallhatja azt, fülében hangérezet nem keletkezhetik, ő csak bőridegei által, mint sajátos zsibongást fogja azt fel. A rezgési idő azon határai, melyek között a fül a légrezgéseket mint hangot meghallja, ugyancsak a fül különös szerkezetétől függenek.

Midőn a sziréna lassan forog s így az egyes lökések csak lassan követik egymást, hangot nem hallunk. Ila

gyorsabban és gyorsabban mozog, úgy a légrezgések neme semmi lényeges változást nem szenved, a fülön kívül semmi új dolog nem járul hozzá; az a mi új, csak a fülnek érzése; a lég rázkódásai most már kezdenek a fülre hatni. A gyorsabban egymást követő légrezgéseknek épen ezért új nevet adunk, s azokat hangnak mondjuk. Paradox tételek barátai ennek alapján azt állíthatnák, hogy a légrezgés csak a fülben válik hanggá.

Most le kell írnom a hang elterjedését a levegőben. Valamely légtömeg akkor, ha hang fut rajta át, a mozgásnak azon nemét végezi, melyet a természettan a hullámszerű mozgások fontos fejezetében tárgyal. A hangon kívül a fénymozgás is ide tartozik.

E név azon hasonlatosságból ered, mely e mozgások és a vizeink területén elterjedő hullámok között fennáll, s csakugyan ez utóbbiak szolgálnak legalkalmasabban e mozgási mód sajátságainak felderítésére.

Midőn a nyugvó vízfelületnek valamely pontját meg-rázkódtatjuk, a mit például egy kőnek bedobása által könnyen elérhetünk, úgy a keletkező mozgás hullámokat szül, melyek körökben terjednek tova a vízfelületen. A hullámok köre mindig nagyobb és nagyobb lesz, az eredetileg meg-rázkódott pont pedig újra nyugvásba tér. Eközben a hullámok annál alacsonyabbakká válnak, megnél inkább távolodnak a középponttól, s lassanként elenyésznek. Az ilyen hullámso-rozaton emelkedéseket és mélyedéseket veszünk észre, s az elsőket hullámhegyeknek, az utóbbiakat ellenben hullám-völgyeknek nevezzük.

Egy hullámhegy és egy hullámvölgy együttesen egy hullámot képez; hosszát a két szomszédos hullámhegy csúcsa közötti távollal mérjük.

Ne gondoljuk azonban, hogy a hullámnak a vízfelületen végigfutása közben azon vízrészeczek mozognának tova, melyek a hullámokat alkotják. A hullámok az egyes vízrészecskéket emelik és süllyeszti ugyan, de helyzetükből különben alig

mozdítják ki. Dobjunk egy szalmaszálat vagy tollat a hullámnzó vízfelületre, s ez állítás helyességéről meg fogunk győződhetni.

A fentúszó könnyű testecske csakis a környező vízrészecskék mozgásaiban vesz részt. A vízrészecskék tehát néhány ide s oda ingás után ismét régi helyzetökbe térnek, s így az, a mi mint hullám tovaterjed, csakis a felületnek különös alakja lehet, mely folyvást új meg új vízrészecskékből képződik. Az egyes vízrészecskék mindaddig csaknem egyenletes sebességgel mozognak zárt és függőleges körpályáikban, míg a hullámok rajtuk átvonulnak.

A 2-ik ábrán az erősen húzott $A B C$ hullámvonal a vízfelületnek keresztmetszetét állítja elő, azon pillanatban, midőn rajta az a és c felett rajzolt nyilak irányában hullámok futnak végig.



2-ik ábra.

Az a , b és c körök a hullámfelületen fekvő egyes vízrészecskék pályáit ábrázolják. Látjuk itt, hogy azon pillanatban, midőn a vízfelület az $A B C$ vonalnak megfelelő alakkal bír, a b körben mozgó részecske pályájának legmagasabb pontjába jutott, az a és c körökben mozgók ellenben ugyanekkor a lehető legmélyebb helyzetet foglalják el. E vízrészecskék pályáikban a megfelelő nyilak által kijelölt irányban mozognak. A pontozott görbék a tovaterjedő hullámnak más helyzetait jelelik ki, oly helyzeteket, melyek az $A B C$ helyzet beállta előtt (az a és b közötti csúcsok) vagy aztán (b és c közötti csúcsok) jöttek létre. A hullámhegyek csúcsai számokkal vannak megjelölve; az a , b és c körökbe beírt számok az illető vízrészecskék helyzetét mutatják a hullám ugyanazon számú helyzetének pillanatában. Látni lehet ez ábrán, hogy a vízrészecskék körpályáikban egyenlő íveket futnak be, mialatt a hullámhegyek a víz színén egyenlő távokra terjednek.

A 6 körben látjuk azt is, hogy az abban mozgó vízrészecske miként siet 1, 2, 3 helyzetében az érkező 1, 2, 3 hullámhegyeknek elébe, miként emelkedik azokon s ragadtatik a 4, 6 és 7 hegyek által tova, s miként éri el végre a 7 helyzetben tetőpontját, hogy aztán ismét elmaradjon, s aláüllyedve 13-nál megint kiindulásának pontjához jusson*.

A víz felületének minden részecskéje egyenlő nagyságú kört ír le; a víz mélyében fekvő részecskék hasonló mozgást végeznek, csak hogy körpályáik a mélység növekedésével gyorsan kisebbednek.

Ily módon jó tehát létre a felületen tovaterjedő mozgásnak látszata, ámbár a vízrészecskék a hullámokkal nem vonulnak el, s állandóan szűk-körüi pályáikban mozognak.

Hogy ezek után a vízhullámoktól a hanghullámokra térjünk át, képzeljük a vizet valamely összenyomható ruganyos folyadék által, például levegő által, helyettesítve. Gondoljuk azután, hogy a felületen elterjedt hullámokat egy arra fektetett szilárd lap által leszorítottuk, úgy azonban, hogy a folyadék a nyomás elől oldalt ki ne térhessen. A hullámhegyek alatt legtöbb folyadék foglaltatott, s így az most ezek helyén lesz leginkább megsűrítve, sűrűsége ellenben kisebb lesz ott, a hol a hullámvölgyek feküdtek. Így a hullámhegyek helyébe sűrűbb, a hullámvölgyek helyébe pedig kevésbé sűrű légrétegeket helyeztünk. Képzeljük most, hogy ezen összenyomott hullámok ép úgy terjednek tova mint előbb, s hogy a kilapítás folytán az egyes részecskék körpályái is vízszintes egyenesekké alakultak. Így a hanghullámokra nézve is állani fog a hullámmozgásnak azon jellemző tulajdonsága, hogy abban az egyes részecskék csak ide-oda tolódnak, s az, a mi tovább halad, nem egyéb, mint a mozgásnak állapota, melyben folyvást új meg új részecskék vesznek részt. Ily módon a hanghullámok képét állítottuk elő oly esetben, midőn azok középpontjukból csak vízszintes irányban terjednek el.

* Az előadásban a 2. ábra helyett oly minta használtatott, melyben az egyes pontok csakugyan körpályáikban mozogtak — a vízfelület pedig e pontokat összekötő fonalak által volt képviselve.

A hanghullámok azonban rendesen nincsenek egy vízszintes síkra szorítva, hanem minden irányban egyaránt elterjedhetnek. Ha a hullámköröket, melyeket egy könek vízbe hajítása után a felületen végig futni látunk, a térnek minden irányában kiterjedve gondoljuk, úgy azon gömbalakú hullámok képét nyerjük, melyek a hang elterjedését léghen eszközlik.

Hasonlatosságuk a vízfelületen elterjedő hullámokkal, a hanghullámok egyéb sajátságainak felderítésére is szolgálhat.

A víz hullámok hossza (hullámhegytől hullámhegyig mérve) nagyon változatos. Tekintsünk csak a csendes tónak sima tükrére, a mint azt a lecső csep vagy a szellő fuvalma felfodrozza, nézzük azután a hullámokat, melyeket a gőzhajó ver fel mozgása közben, s melyek az úszót vagy sajkást jól meghintálják, s forduljunk végre el e békés vizektől, hogy a dühöngő óceán hullámtorlásait nézzük, melyeknek mélységeiben sorhajók férnek el, s melyeknek hegyormait csak az nézheti át, ki az árboezokra helyezkedett. Ily nagy különbségeket találunk a hanghullámoknál is. A kis gyűrűzések a vízfelületen a magas hangoknak, a tenger nagy hullámai pedig a mély hangoknak felelnek meg. Így például a contra-*C* hullámai 35 láb hosszúk, oktávájáé felényiek, a legmagasabb zongora-hangok hullám-hossza pedig csak 3 hüvelyk.

A hullám-hossz ezek szerint a hang magasságával függ össze, a hullámhegyek emelkedettsége pedig, vagy a léghullámokról szólva, a sűrűdések és ritkulások erőssége, a hang erősségének (intensitás) felel meg. Hanem ugyanazon emelkedettségű hullámok különböző alakkal bírhatnak, a hullámhegyek gömbölydedek vagy csúcsosak lehetnek. Hasonló változatosságra találunk az ugyanazon magasságú és erősségű hanghullámok között is, csak hogy ezeknél a hangszínezet az, mi a víz hullámok alakjának megfelel. Az

alak fogalmát ily értelemben, a vízhullámokról hanghullámokra is átvihetjük.

Gondoljunk most különböző alakú vízhullámokat laposra nyomva, úgy a lapított felület alakjában minden változatosság eltűnik; de a nyomás és sűrűség, a víztömeg belsejében a felület eredeti alakjának megfelelőleg oszlik el.

Ily értelemben nemcsak a hanghullámok alakjáról szólhatunk, hanem azt rajzban is előállíthatjuk. Az előállítására szolgáló görbe emelkedni fog ott, hol a nyomás növekszik, süllyedni ott, hol az kisebbedik; mintha a görbe által kijelelnők, meddig terjedne a folyadék, ha újra természetes sűrűségét venné fel.

Igaz, hogy eddig csak kevés esetben tudjuk a különböző hangszerek hangszínezetét hullámaik alakja által előállítani.

Az ismert alakú hanghullámok közül egyet a 3-ik ábra mutat; azon hullám ez, melyet egyszerű vagy tiszta hullámnak nevezünk.



3-ik ábra.

Ez alakot vízfelületen csak akkor látjuk, ha a hullám, hosszához mérve, alacsony, s ha tükörsima felületen zavaró behatások nélkül terjed el, különösen, ha a szél fel nem kavarja. — Hegy és völgy itt egyenlő szélesek, s egymásnak annyira megfelelnek, hogy a hegy megfordítva a völgyet teljesen betöltené. Pontosan jellemezhetjük e hullám-alakot, ha megjegyezzük, hogy az akkor jó létre, midőn a vízirészecskék pontosan egyenlő s kicsiny átmérőjű körpályáikban egyenletes sebességgel mozognak. Ezen egyszerű hullámalaknak a hangok azon neme felel meg, melyet hangszínezetükre vonatkozólag, később említendő okokból, egy-

szerű hangoknak nevezünk. Ily hangokat nyerünk akkor, ha egy rezgő hangvillát vele összehangolt ráhangzó cső elé tartunk. Úgy látszik, hogy esengő emberi hangok, közép magasságban az *U* magánhangzót énekelvén, e hullámalaktól alig térnek el.

A rezgő hurok mozgásának törvényeit elég pontossággal ismerjük, hogy egyes esetekben az általuk a léggel közölt hullámok alakját meghatározni lehessen. A 4-ik ábra például azon alakokat állítja elő, melyeket a húr egymásután felvesz akkor, midőn, mint a eziterán, hegyes szöggel pendittetik meg. *Aa* a húr alakját a megpendítés pillanatában mutatja; erre egyenlő időközökben a *B, C, D,*



4-ik ábra.

E, F, G alakok követik egymást, s azután a megfordított *F, E, D, C, B, A* sorrendben állanak elő, s ekként újra meg újra ismétlődnek. A mozgásnak alakja, mely az ilyen

húr által, a ráhangzó szekrény (resonantia-szekrény) közvetítése útján a léggel közöltetik, körülbelül az 5-ik ábrában rajzolt törött vonalnak felel meg. Ez ábrában *hh* egy légrészecske egyensúlyi helyzetét mutatja; *a, b, c, d, e, f, g* pedig a 4. ábrában *A, B, C, D, E, F, G* betűkkel jelelt alakoknak megfelelő helyzeteket tüntetik elő. Látjuk itt, hogy *e* hul-



5-ik ábra.

lámalak, (mely a víz felületén nem is jöhetne létre) nagyságától eltekintve, csupán alakjára nézve, mennyire eltér a 3. ábrában rajzolt hullámoktól. A húr a léggel gyors s váltakozva ellentett irányú lökéseket közöl*.

A hegedű hangja által keltett lég hullámok alakját, megfelelő rajzmodorban a 6. ábra mutatja. A nyomás itt minden egyes rezgésnek tartama alatt folytonosan növekszik, s aztán annak végén rögtön minimumára száll alá.



6-ik ábra.

A hanghullámok alakjának e változatossága a hangszínezet változatosságának felel meg. Hasonlatunkat még tovább követhetjük. Mennél inkább egyenletes és gömbölyded a hullámalak, annál lágyabb és szelidebb a hangszínezet; viszont mennél szakgatottabb s szögletesebb a hullám-

* Hallgatagon tesszük fel e közben, hogy a ráhangzó szekrény és a vele érintkező lég zavartalanul enged a rángatásnak, melyet reá a húr vége gyakorol, s magára a húr mozgására visszahatás nem gyakoroltatik.

alak, annál élesebb a hang. A hangvillák gömbölyded hullámalakjokkal rendkívül lágy hangot adnak, míg a ezitera vagy a hegedű hangja ép oly éles, mint e hangszerek hullámalakja, 5. és 6. ábra.

Szeretném végre tisztelt hallgatóim figyelmét egy tanulmányos látványra irányítani, melyet magam mindig bizonyos, természettani élvezettel néztem, mert e jelenet testi szemcinknek láthatóvá teszi a vízfelületén azon folyamatot, melyet különben a hanghullámok által keresztül-kasul járt légben, csak a matematikus szellemi szemé képes áttekinteni. Több különböző hullámrendszer egymásra torlódását értem, az egyes rendszerek zavartalanul terjedvén odább. Minden hidról észlelhetjük ezt, a mint folyóink felületén véghez megy, de soha oly magasztosan, mint midőn a tengerpartnak magas pontjairól tekintünk alá.

A Samland erdődús partjain, hol mi keleti poroszok az Alpesek hiányában a tengert csodáljuk, sokszor órákig elmerültem e jelenet nézésébe.

Ritka, hogy ott különböző nagyságú s különböző irányokban haladó hullámrendszereket bőségben ne találunk. A leghosszabb hullámok a magas tengerről futnak a partok felé; a part mentében, hol ezek robajjal szétfeesemennek, rövidebb hullámok keletkeznek, s ezek aztán a tengerbe futnak vissza. Néha halászás közben egy-egy ragadozó madár csap le, s körhullámokat gerjeszt, melyek a hullámzó felületen csak oly szabályosan terjednek el, mint az édesvízi tavak tükörsíma felületén. A távol horizonttól kezdve, hol az aczélkék síkból felbukkanó fehér habsorok a hullámok közeledését előre hirdetik, a partig, hol íveiket a homokba rajzolják, megmérhetlen erő s örök változatosság magasztos képe terül el szemcink előtt, s e kép lelkünket nem háborítja, hanem emeli s elragadja, hiszen szemlünk benne a rendet és törvényszerűséget könnyen felismerheti.

A hangverseny- vagy tánczterem légkörét, hasonló módon kell egymást keresztező hullámrendszerek sokasága által

átmetszve képzelnünk; csakhogy itt a hullámok nemesak egy síkban, hanem minden irányban elterjednek. A férfiak hosszú 6—12 lábnyi hullámokat vernek, míg a hölgyek ajkairól rövidebbek $1\frac{1}{2}$ —3 lábnyiak szállnak tova. A ruhák suhogása a léget gyenge reszketésbe hozza, a zenekar minden hangja szétbocsátja hullámait, s mind e rendszerek, keletkezési pontjuk körül, gömbalakban terjednek el, szerteszét lövelnek, a falak által visszaveretnek, s így ide-oda futnak mindaddig, míg végre újabbak által túlhangozva, lecsillapodnak.

Igaz, hogy e látvány testi szemeink előtt földve marad, de van azért egy más szervünk, a fül, melylyel azt felfogni bírjuk. Egyes hangokra bontja ez a hullámok zürzavarát, mely ez esetben még a tenger hullámainak tömkelegénél is sokkal bonyolodottabb, megkülönbözteti a férfiak és nők, sőt mi több, az egyes egyének hangjait, az egyes hangszerek csengését, a ruhák suhogását, a léptek zörejét s több e félélt.

Vizsgáljuk közelebből e folyamatot. Midőn a hullámozó tengerre a ragadozó madár csap le, akkor, mint láttuk, hullámgylirük keletkeznek, melyek a háborgó felületen ép oly szabályosan terjednek el, mintha az nyugodnék. A gyűrük a hullámok görbe felületébe csak úgy vájgatnak be, mint különben a nyugvó víztükör síkjába. A vízfelület alakját ily esetekben úgy határozhatjuk meg, ha szem előtt tartjuk, hogy minden pontnak magassága, bármely pillanatban, egyenlő lesz az akkor oda érkező hullámhegyek magasságainak összegével, levonva abból az akkor oda érkező hullámvölgyek mélységeinek összegét. Az ilyen összeget, mely pozitív (a hullámhegyek) és negatív (a hullámvölgyek) mennyiségekből van összetéve, (úgy, hogy ez utóbbiak tulajdonképen kivonandó pozitív mennyiségeket jelentenek), algebrai összegnek nevezzük. Ez értelemben mondhatjuk aztán, hogy: a vízfelület minden pontjának magassága bármely pillanatban egyenlő azon

hullámrészek algebrai összegével, melyek akkor ott találkoznak.

Hanghullámokra nézve hasonló tétel áll fenn. Azok is összegezik egymást a légkör egyes részeiben és a hallgató fülében. A fül belsejében a légrészek sebessége és sűrűdése szintén azon sebességek és sűrűdések összegével lesz egyenlő, melyeket az egyes hullámsorok külön-külön hoznának létre. A légnek ezen egy mozgását, mely több hangzó test egyútt-hatásának eredménye, újra részeire bontani, ez a nehéz feladat, mely a fülnek jutott. A fül csak a vele közvetlenül érintkező légrészek mozgását foghatván fel, e feladat megoldásában sokkal nehezebb viszonyok közt működik, mint a szem, mely az egész hullámozó felületet egyszerre áttekintheti. E szervünk feladatát mind a mellett a legnagyobb pontossággal s biztossággal oldja meg. A fülnek ezen képessége hallásunkra nézve rendkívül fontos; léteznie kell, más-ként az egyes hangokat egymástól nem tudnók megkülönböztetni.

Újabb boncztani felfedezések fülünk e fontos tulajdonságának magyarázatát, mint látszik, lehetővé teszik.

Hangszereken, különösen húrokon, a velehangzás (Mittönen) jelenetét minduntalan észlelhetjük. A zongora húrja például, ha arról a tompítót felemeljük, rezgésbe jön, mihelyest közelében valamely hangszeren a húrnak hangja megszólal. Midőn az így reá ható hang már lecsendesült, a húr még egy ideig utána cseng. Ha a húrra papírszeletkéket rakunk, úgy az rögtön lehajítja ezeket, mihelyest melléte saját hangja esendül meg. A húr velehangzása az által jó létre, hogy a rezgó légrészeeskék reá és a ráhangzó szekrényre ütnek.

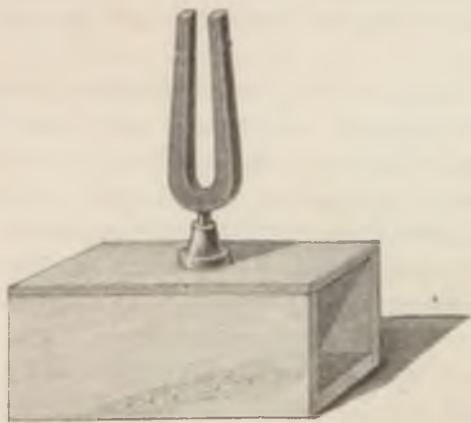
A légnek hullámhegyei, a húr mellett elhaladván, egyenként elégtelenek ugyan arra, hogy azt észlelhető rezgésbe hozzák; mégis, ha a hullámhegyeknek hosszú sora esik a húrra, s mindenikök megerősíti a mozgást, melyet az előtte ható hátrahagyott, úgy hatásuk érezhetővé válik. Ha-

sonló jelenetek jönnek létre nehéz harangoknál is. A legerősebb férfi alig bírja azokat nyugalmi helyzetükből egyszerre kilóditani, míg a kis fiu, ha a kötelet a harang ingaszerű mozgásának ütenyében húzza, azt lassankint a leghatalmasabb lóbálásba hozza.

A rezgések e sajátoszerű erősödésének jelene lényegesen az ütenytől függ, melyben a húzások ismétlődnek. Mikor a harang már kis szélességű lengésbe jött, s a fiu mindannyiszor megrántja a kötelet, valahányszor az alább-száll, akkor lengése valami kevéssel mindannyiszor erősödik, s így lassanként jelentékeny nagyságúvá nő.

Ha ellenben a fiu szabálytalan időközökben alkalmazza erejét, úgy a harang mozgását majd erősíteni, majd ismét gyengíteni fogja, s jelentékeny eredményt el nem érhet.

Valamint a fiu a harangot, ép úgy mozdítja meg a



7-ik ábra.

lég könnyű s könnyen mozgó részecskéinek rázkódásai a hangvilla nehéz s szilárd tömegét, ha a légben elterjedő hang ugyanaz, mint a hangvilláé; mert ilyenkor minden lég-hullám ütése erősíteni fogja a mozgást, melyet megelőzői létrehoztak.



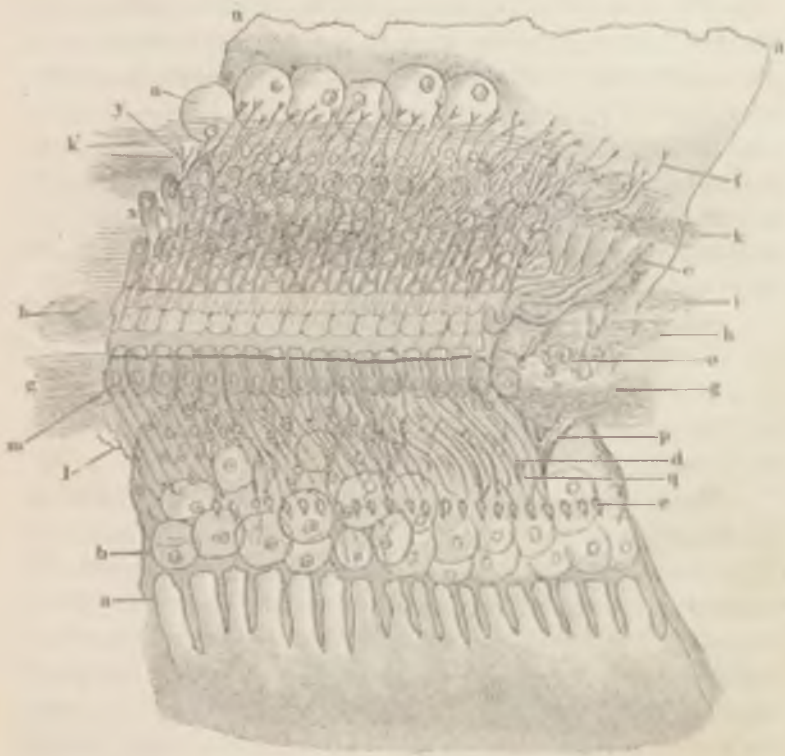
A jelenség legszembetűnőbb akkor lesz, ha egy ráhangzó szekrényre erősített hangvillát használunk (7-ik, ábra) s a levegőt közelében egy második, épen úgy berendezett hangvilla segítségével hozzuk rezgésbe. Ha e hangvillák valamelyikét megütjük, nemsokára a másikat is hangozni halljuk. Nyomjuk el az elsőnek hangját, csúcsait ujjunkkal érintvén, a második tovább hangzik. Erre a második újra az első hozhatja rezgésbe és így tovább.

Ha azonban az egyik hangvilla csúcsaira csak kevés viaszkot tapasztunk, s ez által hangmagasságát fülünk által alig érezhetőleg megváltoztatjuk, akkor a másik hangvilla velehangzása azonnal megszűnik. Ez esetben a rezgési idők már nem egyenlők, s így a lökések, melyeket az egyik hangvilla a másikkal közöl, csak rövid ideig lehetnek annak mozgásával egyirányúak, tehát csak rövid ideig fogják azt erősíteni; mert később ellentett irányban hatva, előbbi művet megsemmisítik.

Könnyebb s mozgékonyabb hangképes testek könnyebben is jönnek hangzó mozgásba; így például a húrok kisebb számú léglökések által s még azon esetben is hangzásba hozhatók, ha a reájuk ható hang saját hangjukkal nem a lehető legpontosabban egyezik meg.

Midőn tehát a zongora közelében egyszerre több hang szólal meg, a zongora egyes húrjai csak akkor fognak rezgésbe jönni, ha saját hangjuk a többek között foglaltatik. Gondoljuk a tompitót a zongora egész hűrsorának mentében felemelve, s a hűrokra papírszeletkéket helyezve; képzeljük továbbá, hogy közelében egyszerre több emberi hang és hangszer szólal meg: úgy a papírszeletkéék azon és pedig csak azon hűrokról fognak lehullani, melyeknek hangja megszólamlott. Látjuk ebből, hogy a zongora a levegő hullámainak zűrzavarát alkatrészeire képes bontani. Lehetséges hogy az a mi ugyanakkor fülünkben történik, nagyon hasonló a zongorában véghez menő folyamathoz, a mint azt most láttuk. A sziklaesont mélyében ugyanis, melybe fülünk,

belső része vájva van, egy különös szervet találunk, a csigát, így nevezve a hasonlatosság folytán, mely vízzel telt ürege és közönséges csigáink belseje között fennáll. Csakhogy fülünk csigájának csatornája egész hosszában, két a csatorna magasságának közepe táján kifeszített hártya által, három részre: a felső, középső és alsóra osztatik. A középső részben Corti örgróf nagyon különös képződményeket fedezett fel,



8-ik Ábra.

t. i. számtalan, mikroskopi kiesínységű lemezkéket, melyek a zongora billentyűinek módjára szabályosan egymás mellett

feküsznek. E lemezekék egyik vége a hallóideg rostjaival áll összeköttetésben, a másik a kifeszített hártyán esling.

A 8-ik ábra e rendkívül bonyolodott alakulatokat, a csiga válaszfalának egy darabjáról rajzolva, tünteti elő. Azon iv alakú szerkezetek, melyek d -nél a hártyáról leválnak, azzal e -nél ismét egybeforradnak, s m és o között legmagasabbra emelkednek, ezek alighanem azok, melyek a rezgéseket felfogni s folytatni képesek. Ez íveket számtalan rostocskák szövik át, melyek között c -nél, az ott látható lyukakon áttörő, idegrostokat is találunk. A g , h , i , k harántrostok és az o körül fekvő sejtek ugyancsak az idegrendszerhez tartozóknak látszanak.

A csiga válaszfalának egész hosszában mintegy 3000 ilyen d e -hez hasonló iv fekszik, szabályosan egymás mellé helyezve, mint a zongora billentyűi.

Újabb időben halló szervünk egy más részében is, az úgynevezett előesarnokban, ott, hol az idegek vízben úszó bőrtömlőcskéken terjednek szét, ruganyos függelékek találtattak az idegvégeken, melyek merev hajszálaeszkák alakjával bírnak. E szerkezetek boneztani elrendezése alig enged helyet a kételynek arra nézve, hogy azok a fülhöz érkező hangrázkódások következtében csakugyan rezgésbe jönnek. Fogadjuk most el azon feltevést, mely egyelőre csak feltevés marad, (habár nekem a fül physikai működését jól megfontolva, nagyon valószínűnek látszik), hogy e kiesiny függelékek mindenike a zongora húrjaihoz hasonlóan bizonyos magasságra van hangolva; úgy látjuk e hasonlatból, hogy az illető szerkezet csak akkor rezeghet, s így a hozzátartozó idegrost csak akkor érezhet, ha a neki megfelelő hang esendül meg, s hogy ennek folytán minden egyes hang jelenléte, a hangok zűrzavarában, mindig a megfelelő érzés által fog jelentetni.

A fül, mint a tapasztalásból tudjuk, valóban képes az összetett légrezgéseket részeikre bontani.

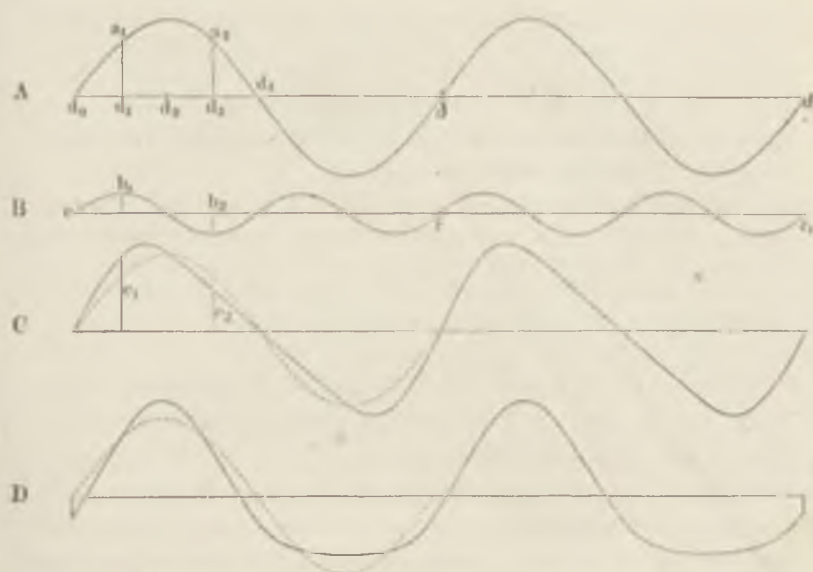
Összetett légrezgések alatt eddig olyanokat értettünk, melyek több, egyszerre hangzó test együtthatása folytán ke-

letkeztek. Mivel pedig különböző hangszerek hullámainak alakja is különböző, megtörténelhetik, hogy az egy hangszer által a fülben létre hozott rezgési mód teljesen meg-egyezik azzal, melyet benne más alkalommal két vagy több hangszer egyíltthetva képes előidézni. Ha igaz, hogy a fül ez utóbbi esetben a mozgást részeire bontja: úgy az első esetben is ugyanazt kell tennie, midőn a hang csak egy forrásból származik. A fül e várakozásnak csakugyan megfelel.

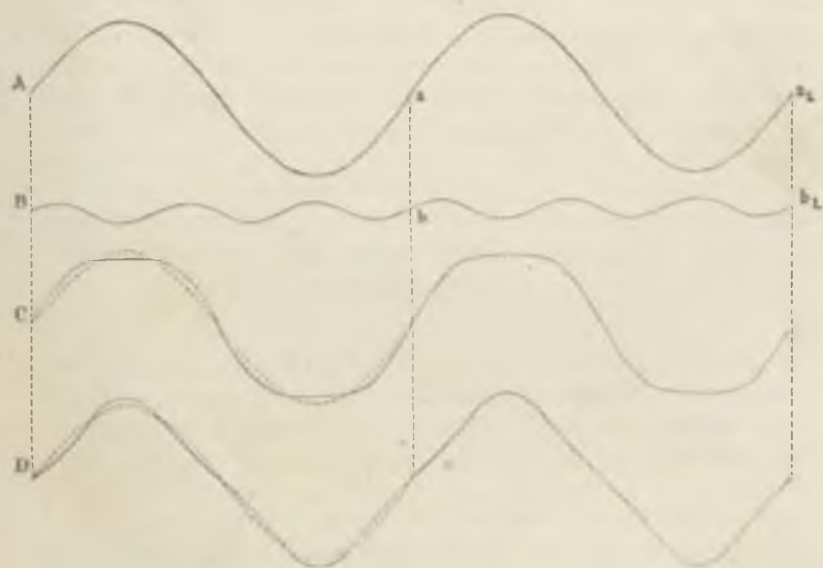
Már előbb szó volt az egyszerű vagyis tiszta hullám-alakról, mely gömbölyded s egyforma hegyei s völgyei által tűnik ki. Fourier francia matematikus ezekre nézve egy híres és fontos tételt bizonyított be, melyet a matematika nyelvélből magyarra körülbelül következőleg fordíthatunk: minden tetszőleges hullám-alak előállítható különböző hossz-aságú egyszerű hullámok össze-tétele által. Ezen egyszerű hullámok leghosszabbika az adott hullám-alak hosszával bir, a többiek annak felével, harmadával, negyedével s i. t. egyenlők.

Ez egyszerű hullámok hegyeinek és völgyeinek különböző találkozás-i módja által az alakoknak végtelen sokfélesége állítható elő.

Így a 9-ik ábrában *A* és *B* hullámvonalak egyszerű és tiszta hangoknak felelnek meg, és pedig *B* ugyanazon időben kétszer annyi rezgést végez mint *A*, tehát annak magasabb oktá-váját képezi. Ellenben *C* és *D* oly hullámokat ábrázolnak, melyek az *A* és *B* egymás-fölé rakása által keletkeznek. A pontozott vonal a *C* és *D* görbék mentén nem egyéb mint az *A* hullám kezdetének ismétlése. *C*-nél a *B* vonalnak *c* kezdete az *A* kezdetére van rakva, *D*-nél ellenben *B* görbének első völgye *b* helyzetetett az *A* kezdete fölél. Ily módon két különböző görbe jó létre, melyek közül az elsőnek hegyei, meredeken emelkedve, lejtősen esnek alá, s megfordítva völgyeikbe épen beleillenének; míg a másodiknak két oldalt egyaránt emelkedő csúcsos hegyei között lapos völgyeket találunk.



9-ik ábra.



10-ik ábra.

A 10-ik ábra még egyéb ily alakokat mutat, melyek két egyszerű *A* és *B* hullám összetétele által keletkeznek. Itt azonban *B* háromszor annyi rezgést végez, mint ugyanazon idő alatt *A*, s így ennek duodecimjét képezi. *C* és *D*-nél, a pontozott vonalakban itt is, az *A* ismétlődésére találunk. Hegy és völgy a *C* vonalban egyaránt lapult, a *D* vonalban egyaránt csúcsos.

E néhány példa elegendes lesz annak kimutatására, hogy ily nemü összetételek által mennyire változatos alakok állíthatók elő. Ha nem két, hanem több egyszerű hullámot veszünk, s azoknak magasságát s kezdetét önkényesen változtatjuk, úgy számtalan új változatot hozhatunk létre, s bármilyen hullámokat alkothatunk*.

Ha a vízfelületen különböző egyszerű hullámok jönnek össze, úgy az összetett hullámalak csak egy pillanatig lesz észlelhető, mert a hosszabb hullámok a rövideknél gyorsabban futnak el. Szemünk ekként az elválás megtörténte után könnyen felismerheti azt, hogy több hullámsor mozgásával van dolga. Midőn ellenben hanghullámok vannak hasonlóan összetéve, úgy azok nem válnak el oly gyorsan, mert a léghullámok a hosszú és a rövid hullámok ugyanazon sebességgel terjednek tovább. Az összetett léghullám változatlan marad, s midőn a fülhez jut, ki sem ismerné fel rajta, vajjon egyetlen hangszerből indult-e ki, vagy útközben több hullámsorozat összehatásából keletkezett-e?

De mit tesz a fül? részeire bontja-e, vagy mint egészet fogja-e fel? — A válasz a kérdés értelmezése szerint különböző lehet, mert élesen kell itt kettőt megkülönböztetnünk, először az érzetet (Empfindung), a mint ez a hallóidegben szellemi tevékenységünktől függetlenül keletkezik, és másodszor a képzetet (Vorstellung), melyet magunkban annak alapján alkotunk. Testünk anyagi fülét, hogy úgy szóljak, meg kell különböztetnünk képzelő tehetségünk szellemi fülétől. A testi fül mindenkor azt teszi, a mit a

* Igaz, hogy itt az áthajló hullámszakaszokat kizárjuk, de ezeknek a hanghullámokra nézve úgy sincs semmiféle jelentőségük.

mathematikus, Fourier tételének alapján, tesz, s az összehajtott hangtömeggel a zongora módjára bánt el; az oly hangokat tehát, melyek eredetileg nem egyszerűek, mint a hangvilláké, egyszerű hullámokra bontja, s a minden egyes hullámnak megfelelő hangot egyenként érzi, akár az egész hullám egy hangszerből indult ki, akár a fülhöz terjedése közben összetevés által alakult.

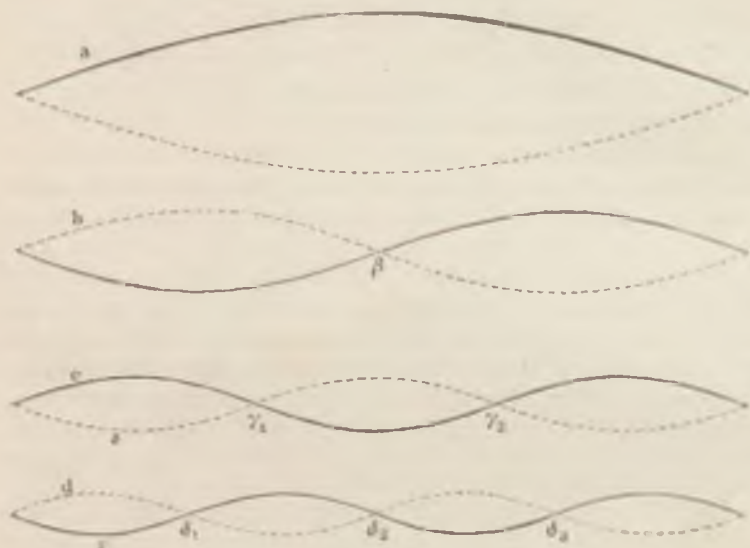
Pendítsünk meg például egy húrt, úgy az, miut már láttuk, oly hangot ad, melynek hullámalakja az egyszerű hullámalaktól nagyon különbözik. Fülünk e hullámalakot egyszerű hullámokra bontva, egy-szersmind azon egyszerű hangokat hallja, melyek azoknak megfelelnek.

A hurok az idevágó kérdések tanulmányozásánál nagyon alkalmas példa gyanánt szolgálhatnak, mivel mozgásuk közben maguk is nagyon különböző alakokat vehetnek föl, melyek épen úgy, mint a lég hullámai, egyszerű hullámokból összetetteknek tekinthetők. A tüvel megpengetett húr egymást követő alakjait már a 4-ik ábrában előállítottuk. Ugyan-
csak egy húrnak egyéb és pedig egyszerű hangoknak megfelelő rezgés-
alakjait a 11-ik ábra mutatja. A kihúzott vonal a húr legnagyobb kitérését az egyik, a pontozott vonal pedig a másik irányban jeleli. Az *a* vonal a húr alaphangjának, vagyis a legmélyebb hangnak felel meg, melyet az adni képes, mikor egész hosszában az egyik vagy másik irányba kicsap. Ellenben *b*-nél már két rezgő szakaszt látunk, egymástól a nyugvó $\frac{1}{2}$ pont, az úgynevezett csomópont által elválasztva. A keletkező hang ez esetben ugyanaz, melyet e szakaszok egyenként adnának, t. i. az alaphangnak magasabb oktávája, jellemezve kétszerannyi rezgés által, mint a mennyit ugyanaz időben az alaphang végez. A *c* vonalnál már két csomópontot, s így három rezgő szakaszt s háromszor annyi rezgést fedezünk fel, mint az alaphangnál. A *c*-nek megfelelő hang tehát az alaphangnak duodecimje. Végre *d* négy rezgő szakaszt, s négyszer annyi rezgést foglalván magában, az alaphang második magasabb oktávját adja.

Épen így fognak rezgési alakok előfordulhatni, melyekben 5, 6, 7 vagy több rezgő szakasz foglaltatik s melyek rezgés-számai az alaphang rezgés-számához ugyan e számok arányában állanak. Ekként fogjuk a húr bármely rezgés-alakját az egyszerű rezgések sorából összetettnek tekinthetni.

A húrnak csomópontokat tartalmazó rezgés-alakjait könnyen létrehozhatjuk, ha a húrt az illető csomópontok egyikében ujjunkkal vagy egy pálczával gyengén érintjük, s azt a közben akár a nyirettyü-

vel meghúzáva, akár ujjunkkal vagy a zongora kalapácsával megpendítve, hangzásba hozzuk. Ily módon a flageoletthangokat idézzük elő, a mint azokat a hegedűsök gyakorta használják.

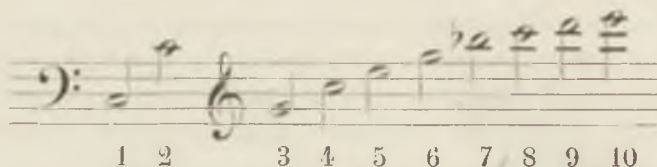


11-ik ábra.

Ha most a húr bármiként is hangzásba jött s mi azt β -nál (11. ábra, b) pillanatnyilag megérintjük: úgy az a és c rezgésnemek ez érintés folytán akadályoztatnak s elnyomatnak, míg a b és d rezgésalakok, melyekre nézve β különben is nyugvásban van, zavartalanul tovább hangoznak. Így kereshetjük fel valamely húr egyszerű hangjainak sorából azokat, melyek annak hangjában egy bizonyos módon történő megpendítés folytán előfordulnak, s így válnak ez egyszerű hangok külön-külön hallhatókká.

Ha egyszer a húr csengésében az egyszerű hangokat ily módon észlelhetőkké tettük, úgy azokat figyelmes hallgatás mellett a húrnak meg nem változtatott összes hangjában is meg fogjuk különböztethetni.

Az alaphangot kísérő hangok sorozata egyszerű és pontos szabálynak hódol, egészben véve azon hangok képezik azt, melyeknek rezgési számai kétszer, háromszor, négyszer vagy többször oly nagyok, mint az alaphangé. E hangokat az alaphang harmonikus felhangjainak szoktuk nevezni. Ha például c volna az alaphang, úgy a felhangok sora, a zenészek módjára jelezve, a következő lesz:



A hangszerek nagy részben a három példáját követik, s oly hullámokat vernek, melyek az egyszerű hullámalaktól eltérvén, csak több vagy kevesebb egyszerű hullám összetétele által állíthatók elő. Fülünk, mint ügyes matematikus, Fourier tétele szerint elemzi e hullámokat, s kellő figyelem mellett az abban foglalt egyszerű felhangokat is megkülönbözteti. Egyszerű következése ez azon feltevésnek, melyet a Corti-féle szervek megrezdülésére nézve állapítottunk meg. A zongorán nyert tapasztalat és a mennyiségtani elmélet a velehangzás jelenetére vonatkozólag egy és ugyanazon eredményhez vezetett, hogy t. i. az nemcsak az alaphang, hanem a felhangok által is előidéztetik. Ennek folytán látjuk, hogy a fül csigájába kívülről eső hang nem egyedül az alaphangjának megfelelő lemezkét fogja megrezditeni, hanem azokat is, melyek a felhangoknak felelnek meg. E lemezkék a velők egybekötött idegrostokra hatván, az alaphanggal együtt a felhangok is hallhatókká válnak.

E szerint csak azon hangot mondhatjuk egyszerűnek, mely egyszerű alakú hullámok által jó létre. Minden ettől eltérő hullámalak, mint az a hangszerek nagyrésztében keletkezik, egyidejűleg több különmemű hangérzetet ébreszt.

A zenei hangszerek hangjai tehát szorosan véve megannyi akkordoknak tekintendők, melyeknek alaphangja túlnyomó.

Mindazt mit a felhangokról mondtam, önök talán újnak és különösnek fogják tartani. Tisztelt hallgatóim között bizonyára többen vannak, kik zenét sokszor hallgattak, sőt maguk is zenéltek, s mégis zenei hallásuk pontossága

mellett is csak vajmi kevesen vették észre ama hangokat, melyek állításom szerint folytonosan és mindenkor jelen vannak. A ki e hangokat hallani akarja, annak figyelmét különösen rájuk kell irányítani, különben rejtve maradnak előtte. Érzéki észrevevéseink ugyanis nem pusztán az idegrendszernek érzetei, hanem ez utóbbiakhoz még a szellem sajátos működésének kell hozzájárulnia, hogy az ideg érzetéből azon külső tárgynak képzete keletkezhessen, melynek behatása folytán az érzet létrejött. Idegeink érzetei csak a kültárgyak képét szolgáltatják, s mi nagyrészt csak gyakorlat által tanuljuk meg, miként kelljen az érzetekből a megfelelő tárgyakra helyes következtetéseket vonni. Összes érzéki felfogásaink azon általános törvénynek hódolnak, miszerint figyelmünk csak annyiban irányul az érzetekre, a mennyiben azok a kültárgyak felismerésére szolgálnak; e tekintetben mindannyian csak a gyakorlati hasznot hajhászszuk, s egyoldalúbbak s tapintatlanabbak vagyunk, mint azt gondolnók. Érzékeink rendes használata közben azon érzeteket tekintetbe sem vesszük, melyek nem vonatkoznak közvetlenül kültárgyakra s ilyenekre csak érzékünk működési módjának tudományos vizsgálatánál, vagy betegségek alkalmával figyelmünk, midőn gondolkozásunk kiválóan testünk tüneteire irányul. Mily gyakori eset az, hogy a szemünkben uszkáló szemeséket és szálaeskákat, az úgynevezett „röpülő bogarkákat“ a gyenge szemgyulladásban szenvedő beteg először veszi észre, s e felfedezésére hypochondrikus következtetéseket alapít, mert e testeeskéket új képződményeknek tartja, holott azok rendesen már egész megelőző életszakán át szemében foglaltattak.

Ki venné azt könnyen észre, hogy minden egészséges szem látmezején belől egy hely fordul elő, az úgynevezett vak folt, hol semmit sem látunk? Mily kevesen tudják azt, hogy szemüket egy tárgyra szegezvén, e s a k magát azt látják egyszerűen, míg az előtte vagy mögötte álló tárgyak kettősen tűnnek elő? Számtalan hasonló példát tudnék itt

felsorolni, megannyi érzetet, mely csak érzéki működésünk tudományos vizsgálata folytán derült fel, s mélyen rejtve maradt addig, míg (a mi sok esetben nem könnyű feladat) a figyelem kellő eszközök által rá nem irányított.

A jelenetek e csoportjába tartoznak a felhangok is. Nem elég, hogy a hallóideg a hangot érzi, szellemünknek is rá kell irányulnia; ezért különböztettem meg előbb a testi fület a szellemitől.

A hűr hangját mindig bizonyos felhangok kíséretében halljuk. E hangok egy csoportosítási módja a fuvola hangját, annak egy másik módja az emberi hangot, s még egy másik módja a kutya vonítását jellemzi. Érdeklünkben fekszik mindenkor tudni, hogy hegedű, fuvola, ember vagy kutya-e az, a mi közelünkben van, s ezért gyakorolja magát fülünk e hangok megkülönböztetésében. Hogy e megkülönböztetés mily úton történik, azzal rendesen nem törődünk.

Gyakorlati szempontból közönbös az, vajjon a kutya vonításában az alaphangnak magasabb oktávája vagy duodecimje fordul-e elő, s ezért figyelmünk e tárgyra nem is szokott irányulni. Így olvadnak be a felhangok a hangnak azon pontosabban alig jellemezhető sajátságába, melyet hangszínezetnek nevezünk. A mennyiben pedig a felhangok jelenléte a hullámalaktól függ, amnyiben jogosult azon már előbb kimondott állításom, hogy a hangszínezet a hullámalaknak felel meg.

Legkönnyebben lehet a felhangokat akkor hallani, ha azok az alaphanggal ninesenek összhangzásban. Így van ez a harangoknál. A harangöntés művészete különösen abban áll, hogy a haragnak oly alakot adjunk, melynek folytán a mélyebb és erősebb felhangok az alaphanggal összhangzókká váljanak; különben hangja rekedt s az üstéhez hasonló lesz. A magasabb felhangok azonban minden meszterkedés daczára sem hozhatók összhangzásba, s ezért a harang nem is alkalmazható a művészi zenében.

A mondottakból azt is átlátjuk, hogy a felhangok megkülönböztetése annál nehezebb, mennél gyakrabban hallottuk az összetett hangot, melyben előfordulnak. Különösen áll ez az emberi hangra nézve, melynek felhangjait sok, és pedig ügyes, észlelő hiába kereste.

E nézet helyessége meglepő igazolásra talált az által, hogy annak alapján egy módszert lehetett megállapítani, melynek segítségével az emberi hang felhangjait nem csak magam hallottam, de másokra nézve is hallhatókká tettem.

Nincs a mellett kiválóan művelt zenei hallásra szükség, mint azt eddig hitték; a fődolog csak az, hogy a figyelem kellő irányítást nyerjen.

Énekelje egy erős férfihang a zongora közelében *O* magánhangzóra a jelzésnélküli *es*-t. Üssük meg gyengén a zongora magasabb, egyszerjelzett oktávájának *b* hangját, s figyeljünk az elcsendesülő zongora hangjára. Ha *e* hang az énekes énekében mint felhang foglaltatik, úgy a zongora hangja látszólag nem csendesül el, hanem fülünk az illető felhangot folytatása gyanánt hallja. Ha *e* kísérletet alkalmas vál-

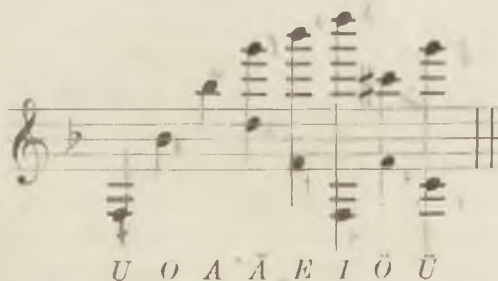


12-ik ábra.

tozatokban ismételjük, úgy azt találjuk, hogy az egyes magánhangzók egymástól felhangjaik által különböznek.

Még könnyebben érünk ezélt, ha fülünket üveg- vagy fémgolyókkal kötjük össze, minőt a 12-ik ábra mutat. A szélesebb *a* nyílás a hangforrás felé lesz fordítva, a szűkebb töleséralakú ellenben a fülbe helyeztetik. A golyónak meglehetősen zárt légtömege sajáthanggal bír, mely könnyen előtűnik, ha a golyót *a* nyílás szélén megfűjjük. Valahányszor tehát a golyónak saját hangja egy kivűle fekvő hangszerben akár mint alaphang, akár mint felhang megszólal, a golyónak légtömege mindannyiszor hevesen megrezdül, s így az avval összekötött fül az illető hangot megerősítve hallja. Így ismerhetjük meg, vajjon a golyó saját hangja valamely csengésben vagy hangkeverékben előfordul-e?

Ila az ember által kiejtett magánhangzókat az itt leírt ráhangzó golyókkal (resonator-ok) vizsgáljuk: úgy csakhamar azon eredményhez jutunk, hogy minden egyes magánhangzó felhangjai a hanglejtő egy bizonyos részében legerősebbek, így például az *O* felhangjai *b'* közelében; az *A* felhangjai pedig egy oktávával magasabban, *b''* táján. Ide csatolom a hanglejtő azon pontjainak átnézetét, melyeknek közelében az egyes magánhangzók felhangjai, (éjszak-németes kiejtés-sel) kiváló erősen előtűnnek:



Egy könnyen véghezvihető, egyszerű kísérlet meggyőzhet arról, mennyire közömbös hallóérzékűnkre nézve az, vajjon az emberi hang módjára összetett csengésekhez tartozó egy-

szerű hangok, egy vagy több hangforrásból származnak-e. Ha a zongora tompítóját felemeljük, úgy az a beleénekelte hangot nemesak kellő magasságával, de hangszínezetével is vissza fogja adni. Énekeljük a zongora szekrényébe, annak valamely hangjára A magánhangzót, s az A tisztán fog abban tovább csengeni, énekeljük az E , O vagy U -t belé, s a húrok E , O és U -t fogják tovább hangoztatni. A kísérlet nehézsége csak abban áll, hogy a zongora illető hangjának magasságát pontosan kell eltalálnunk. A magánhangzó jellemző csengése ilyenkor azon magasabb húrok megrezdülése által jó létre, melyek a megszólalt hang harmonikus felhangjainak felelnek meg. Ha ezeket a tompítóval elnyomjuk, úgy a hangzók jellemző csengése megszűnik.

Így, e kísérlet folyamában az emberi gégeének, tehát egy egyetlen hangszernek hangja megcsendíti egyszerre több húrnak hangjait, s létrehozza mindazon egyes légmozgásokat, melyek alakjuk és hangszínezetükre nézve az egyszerű hangéhoz hasonlóak.

Eddig csak különböző hosszúságú hullámokat tettünk össze. Figyelmünket most egyenlő hosszúságú s egy irányban terjedő hullámok összetételére fogjuk irányítani. Az eredmény ilyenkor különböző lesz, a szerint, a mint az egyik hullámnak hegye a másiknak hegyével, vagy az egyiknek hegye a másiknak völgyével találkozik. Ha a két hullámsor ugyanazon magasságú, tehát, ha az egyiknek hegyei éppen betöltik a másiknak völgyeit: úgy az első esetben kétszer oly magas hegyek s kétszer oly mély völgyek keletkeznek a második esetben pedig a hullámok kölcsönös megsemmisítése áll be. A mint két hullámsorozat a vízfelületen megsemmisítheti egymást, úgy teheti azt két hanghullámsor is, midőn az egyiknek sűrűségi pontjai, a másiknak ritkulási pontjaival esnek össze. Ezen meglepő jelenetet, midőn hang a hangot megsemmisíti, a hang interferenciájának nevezzük.

A már előbb leírt sziréna könnyen szolgálhat ennek kimutatására. Állítsuk felső szekrényét úgy, hogy a 12 lyukas sorok léglökései mindkét szekrényből egyszerre törjenek elő, akkor azok hatásukat kölcsönösen erősítik s a szirénának illető hangját nagyon telten és erősen halljuk. Ha ezután a felső szekrénynek oly állást adunk, melynek folytán abból a léglökések akkor törnek elő, midőn az alsó szekrény lyukai fődve vannak, és viszont: úgy az alaphangot többé nem halljuk, s csak az egy oktávával magasabb felhang eseng tovább, mert ezt e körülmények között az interferentia meg nem semmisíti.

Az interferentia rávezet arra a jelenségre, melyet a hangok lüktetésének nevezünk. Midőn két egyidejűleg hallott hang rezgési idői pontosan megegyeznek: hullámhegyeik folytonosan össze fognak esni, ha kezdetben összeestek; vagy soha nem fognak összejönni, ha kezdetben nem voltak együtt.

A két hang tehát egymást vagy folytonosan erősíteni, vagy folytonosan gyengíteni fogja. Midőn azonban a két hang rezgési idői csak megközelítőleg egyenlők, s a két hullámsor hegyei kezdetben összeesnek, akkor e rend sokáig fen nem állhat, mert az egyiknek hullámhegyei a másiknak hegyei elé sietnek. Lesz oly idő, midőn az egyiknek hegyei a másiknak völgyeibe esnek, s lesz oly idő, midőn az előre siető hullámhegyek a másik hullámsor hegyeivel újra összejönnek. Mindez a hang változatos erősödése- és gyengülésében nyilvánul, s azon jelenséget hozza létre, melyet a hangok lüktetésének vagy lökésének nevezünk. Ilyen lüktetéseket mindannyiszor hallhatunk, midőn két nem tökéletesen összehangolt hangszeren ugyanazon magasságú hangot iparkodunk előhozni. Az elhangolt zongora, melyben az ugyanazon billentyűvel ütött két vagy három húr nincs tökéletes összhangzásban, érzékenyen hallatja azokat. Lassú és szabályos menetű lüktetések a vontatott zenében, különösen pedig a többhangú templomi énekben gyak-

ran nagyon szépen hangzanak, a mint majd magasztos hullámok gyanánt a boltozatig emelkednek, majd gyenge remegésük által a hangot ihletté és meghatottá teszik. Mennél nagyobb a különbség a két hang rezgési ideje közt, annál gyorsabb a lüktetés. Míg az egy másodpercze eső lüktetések száma 4 vagy 6-nál nem több, addig a fül a változatos erősbödéseket könnyen megkülönbözteti. Gyorsabb lüktetések esetében, a mély hang recsegőnek, a magas pedig rikácsolónak hallatszik. A recsegő hang nem is egyéb mint egy gyors megszakításoknak alávetett hang, hasonló az *R* betüéhez, mely akkor jó létre, ha a hangot szájunk vagy nyelvünk rezgései által szakitjuk meg

A mint a lüktetések gyorsabbak és gyorsabbak lesznek, fülünk mindig nehezebben és nehezebben fogja azokat egyenként megkülönböztetni, de a hangnak bizonyos nyersesége tovább is megmarad. Végre a lüktetések észrevétlenekké válnak, s úgy mint az egy hangot alkotó egyes lökések, folytonos hangérzetbe olvadnak *.

Mig tehát minden egyes zenei hang magában véve, hallóidegünkben egyenletes és folytonos érzetet gerjeszt, addig két különböző magasságú hang egymást zavarván s egyes lökésekre bontván, a hallóideg érzetét is szakaszokra osztja. Az ilyen megszakítások fülünkre ép oly kellemetlenül hatnak, mint érzékeny szerveinkre egyáltalában a váltakozó s gyorsan ismétlődő ingerek, például szemünkre a csillámló vagy pislogó fény, bőrtünkre pedig a kefe karczolása. A hangnak illetén nyersesége a széthangzás (dissonantia) okát képezi. Fülünkre nézve az akkor legkellemetlenebb, ha a két hang között mintegy félhangnyi zenei köz foglaltatik, mely esetben a hanglejtő közepe táján fekvő hangoknál, másodpercenként

* Az előadásban az átmenet a lüktetésekből nyers széthangzásba két orgonasípon mutatott be, melyek közül az egyik mindinkább elhangoltatott.

20—40 lökést fogunk hallani. Midőn a különbség egy egész hanggal egyenlő, a nyersség már nem oly feltűnő; s egy terepre nézve, legalább a hanglejtő magas hangjainál, már észrevehetlenné válik. A terezet e szerint összhangzatnak (consonantiának) tekintjük. Ha az alaphangok egymástól annyira különböznek is, hogy hallható lüktetéseket létre nem hoznak, úgy felhangjaik mégis tehetik azt, s a hangot még mindig nyerssé alakíthatják. Így midőn két hang quintet képez, tehát midőn az egyik két rezgést végez a másiknak három rezgése alatt, úgy mindkettő bir egy oly felhanggal, mely ugyanazon időben 6 rezgést végez. Ha tehát az alaphangok rezgésszámainak aránya pontosan 2:3, úgy a két 6 rezgésű felhang egymással szintén pontosan megegyezik s az összhangot zavarni nem fogja; de, ha ama viszony csak megközelítőleg lenne 2:3, úgy a két nem teljesen összeegyező felhang lüktetést hozna létre s a hangot nyerssé tenné.

A nem tiszta quintek ilyenén lüktetéseit gyakran észlelhetjük, minthogy a zongorán vagy orgonán, a most divatozó hangolási rendszernek megfelelőleg, a quintek egyáltalában nem tiszták. Kellő figyelem mellett, vagy az alkalmasan hangolt ráhangzó készülék (resonator) segélyével felismerhetjük, hogy csakugyan az illető felhang az, mely lüktetésben van. E lüktetések gyengébbek mint az alaphangok által létre hozottak, s ez természetes, mert a felhangok maguk is sokkal gyengébbek. Habár csak ritkán jutunk a lüktető felhangok öntudatos megismerésére, fülünk mégis alá van vetve hatásuknak, s annak folytán az összes hangban bizonyos egyenetlenséget és nyersséget fog felfedezni. A tiszta quint ellenben, melyre nézve a hozzátartozó hangok rezgésszámai pontosan 2:3 arányban állanak, egyenletesen cseng tovább, minden szakadozottság, váltakozó erősödés vagy gyengülés, egy szóval minden nyersség nélkül. Már előbb láttuk, miként tünteti elő a sziréna azt, hogy a quint tökéletes összhangzata a rezgésszámok ez arányának pontosan megfelel;

most azon nyerseség okát is felismertük, mely mindannyiszor előáll, valahányszor ez arány megzavarodik.

A hangok, melyeknek rezgésidői egymáshoz pontosan 3:4, vagy 4:5 arányában állanak, s melyek így tiszta quartot vagy tiszta terezet képeznek, fülünkben ugyanesak kellemesebben csengenek, mint azok, melyekre nézve ez arányok csak közelítőleg állanak. Látjuk ebből, hogy bármely hangnak, mint alaphangnak, pontosan meghatározott hangfokozatok felelnek meg, melyek vele együtt csenghetnek a nélkül, hogy a hangot nyerssé tennék, vagy melyek legalább az első hanggal együtt csengvén, a nyerseség kisebb fokát hozzák létre, mint a náluk kevésbé magasabb vagy mélyebb hangfokozatok.

Innét van, hogy a jelenkor zenéje, mely lényegesen az együttesengő hangok összhangján alapul, skálájában bizonyos meghatározott hangfokozatokra kényszerül szorítkozni. Sőt még a régi egyhangos, harmonia nélküli zenére nézve is kimutathatjuk, hogy a zenei hangokban soha nem hiányzó felhangok miként vezettek a dallam menetében meghatározott zeneközökre (intervallumokra); hiszen két egy dallamban egymást követő hang egy közös felhang által oly rokonságba lép, melyet fülünk érezni bír, s mely köztük bizonyos művészi kapcsolatot képez. De időnk rövid s e tárgytól el kell válnunk; különben mélyen kellene a zene történetébe hatolnunk.

Csak egyet akarok még felemlíteni, azt t. i. hogy az alaphang mellett, a felhangokon kívül, még más úgynevezett combinációhangokat is ismertünk. Ezeket csak olyankor halljuk, ha két vagy több, különböző magasságú, erős hang együtt cseng; az összhangzatban néha ezek is lüktetést és nyersséget hoznak létre. Midőn a szirénán vagy tökéletesen hangolt orgonasípokon, vagy akár a hegedűn a c' -e (rezgésszámuk aránya 4:5) terezet hangoztatjuk, akkor egyidejűleg a c' -nél két oktávával mélyebb C -t mint combinációhangot gyengén csendülni halljuk. Ugyanezen C akkor is hallatszik,

ha egyidejűleg e' és g' (rezgésszámuk aránya 5:6) szó-
lal meg.

Ha tehát e három hang e' e' és g' együtt esendül meg,
ugy a C combinációhang két különböző módon jö létre és
tökéletes egyhangzásban lévén, lüktetéseket nem okoz, feltéve
természetesen, hogy a három alaphang rezgésszámai pon-
tosan 4:5:6 arányban állanak. De ha e három hang nem
egész tisztán van hangolva, akkor a két combináció-hang
egymástól kevésbé különbözik s gyenge lüktetéseket hoz létre.

A combináció-hangok rendszerint sokkal gyengébbek
a felhangoknál, s így lüktetésük is sokkal kevésbé feltűnő
és nyers mint amazoké. Szerepük csak oly hangszerek-
nél fontos, melyek felhangokat jóformán nem adnak, mint például
a zárt orgonasípoknál vagy a fuvolánál. Félreismerhetlen azon-
ban, hogy épen az ilyen hangszerekkel eszközölt zene, a
harmonia és disharmonia között különbséget alig mutat, s
füllünkben lágyan s elmosottan hangzik. A jó zenei hang-
színezetek felhangokban aránylag gazdagok, így különösen az
öt első felhangot, melyek az alaphang oktávjait, quintjeit és
terceit képezik, rendesen magukban foglalják. Az orgona
mixtúráiban szándékosan csatolunk az alaphang sípjához
melléksípot, melyek annak összhangzó felhangjait adják,
hogy így az ének kíséretére erősebb és áthatóbb hangszíne-
zetet nyerjünk. Látjuk ebből is, hogy a felhangok szerepe
a zene művészi hatására nézve mennyire fontos.

Gondolatmenetünk a zenei összhangzattan (harmonia
tana) velejére vezetett. A különbség az összhangzás és a
széthangzás (disharmonia) között valóban nem más mint az,
hogy az elsőnél az egyes hangok egymás mellett zavartala-
nul és egyenletesen folynak el, míg azok a másodikonál ösz-
sze nem férnek s egymást egyes lökésekre bontják. Kön-
nyen beláthatják önök, miként járul ez eredményhez mind
az, miről eddig szólottunk. Láttuk mindenekelőtt, hogy a
lökések vagy lüktetések jelensége a hullámmozgás interferen-

tiáján alapul; azért jön tehát e jelenség a hangnál létre, mert az hullám-mozgásban áll. Más oldalról az összhangzó hangközök (Intervallumok) megállapítása czéljából a fül azon tulajdonságára kellett hivatkoznunk, miszerint az a felhangokat érezni és az összetett hullámrendszereket Fourier tétele szerint egyszerűekre bontani képes. Hogy a zenére alkalmas hangokban a felhangok rezgésszámai az alaphang rezgésszámaéhoz úgy aránylanak, mint az egész számok az egyhez, s hogy az összhangzatos (harmonikus) közök a kicsiny egész számok arányainak felelnek meg, mindezt végső elemzésben Fourier tétele magyarázza meg. Fülünk említett tulajdonságának élettani fontosságát a szemünkkel való összehasonlítás még jobban előtűnteti. A fény sem egyéb mint egy különös, a világűrben elterjedt közegnek, az éternek, rezgő mozgása; az interferentia jelenségeit a fény is mutatja. A fény is különböző rezgési idővel bíró hullámokból áll, melyek szervünkben különböző színérzetet gerjesztenek; a legnagyobb rezgésidővel bírók vörösek; s a mint rezgésidők kisebbednek, narancs, sárga, zöld, kék és ibolya következnek; ez utolsónak rezgésidője körülbelül fél akkora mint a szélső vörösé. De szemünk összetett fényhullámrendszerekben, tehát összetett színekben nem képes az alkotó részeket megkülönböztetni; hanem egy el nem bontható egységes érzetbe foglalja őket össze, a színkeverék érzetébe. Vajjon a színkeverékben foglalt alapszínek rezgésszámai egyszerű viszonyban állnak-e vagy nem, az szemünkre nézve közömbös. Összhangot a szem oly értelemben, mint a fül, nem ismer; zenéje nincs.

Az aesthetika a művészi szépnak lényegét az öntudatlan okszerűségben keresi. Törekedtem önök előtt a rejtett törvényt feltárni, mely az összhangzatos hangkapcsolatok jó hangzását okozza. Mindenesetre öntudatlannak mondhatjuk azt, hiszen a felhangokon alapul, melyek idegeinkre behatnak ugyan, de öntudatos felfogásunk tárgyát legfeljebb kivételesen képezik s melyek összeférhetőségét vagy összeférhetlenségét a hallgató akkor is érzi, ha érzetének okát nem ismeri.

A tiszta érzéki jóhangzás e jelenségei, a zenészeti szépek csak legalacsonyabb fokát képezik. Összhangzás és széthangzás csak eszközök, de lényeges és hatalmas eszközök, melyeket a zene magasabb, szellemi szépségének kifejtésére alkalmaz. Széthangzáskor hallidegünk az össze nem férő hangok lökdösései által gyötörtetik, a hangok tiszta összhangzatos lefolyása után vágyódik, s az összhang felé vonzódik, hogy abban megnyugvást találjon. E tényezők a hangok folyamát felváltva kergetik s csillapítják; s kedélyünk, e testnélküli mozgásban, hangulatának áramlatát szemléli. Valamint a hullámzó tenger partján, úgy ragad el itt is a szabályosan ismétlődő s mégis annyira változatos mozgás. De míg ott csak mechanikai erők öntudatlan működését látjuk, mely végre mégis a pusztaság érzetét teszi túlnyomóvá, addig a zeneművekben a mozgás a művész felindult kedélyének áramlatait követi. A hangok árama majd csendesen tova folyva, majd pajzánul esergedezve, majd hevesen felháborodva s a szenvedély hangjai által átezikazva, vagy hatalmasan ég felé törve, eredeti elevenségükben közöl velünk nem sejtett hangulatokat, melyeket a művész saját lelkéből meritett, hogy a hallgatót az örök szépség békéjébe ragadják fel, melynek hirdetőivé az istenség az emberek között csak kevés kedvenceit avatta fel.

De itt már a természeti kutatás határai vannak s megállásra intenek.

M Ű S Z Ó K.

Hang, *Ton*, *Klang*. — Hangköz, *Tonintervall*. — Hangliktetés, *Schwebung der Töne*. — Hangolni, *Stimmen*. — Hangszínezet, *Klangfarbe*. — Együtthang-

zás, *Zusammenklang*. — Összhangzás, *Consonanz*. — Ráhangzás, *Resonanz*. — Széthangzás, *Dissonanz*. — Velchangzás, *Mitönen*.

JÉG ÉS JÉGÁR.

Előadatott

1865-ik év február havában, majnai Frankfurt-
ban és Heidelbergben.

Tisztelt gyülekezet!

A jég és örökös hó világa, a mint az a szomszéd alpokon elterül, ridegsége, elhagyottsága s veszélyessége daczára mindenkit elbűvöl sajátsterü varázsával. Nemcsak a természettudós figyelmét köti le, ki benne földünk jelen és mult történetének nem egy pontját bámulatosan megvilágítva találja; hanem nyaranta azon utasok ezreit is körébe csalja, kik legkülönbözőbb foglalkozásaik által kimerítve, ott testi és szellemi üdülést keresnek. Mig sokan megelégesznek azzal, ha távolról csodálhatják a csillogó

pompát, melyet a havas csúcsok tiszta fénye, a kék ég és zöld rétek közé ékelve, a tájnak kölcsönöz: addig egyesek nem rettegve a veszélyek s fáradalmak nagyságától, ez idegenszerű világban merészen előre törnek, s jutalmazást magasztosságának szemléletében keresnek.

Próbálni sem akarom azt, mit már annyian s annyi-szor hiába próbáltak, hogy szavakkal fessek a természet ama szépségét és nagyszerűségét, melynek látása az alpok vándorát elragadja. Feltehetem, hogy önök azt saját szemikkel látták, vagy legalább reményilem, hogy látni fogják. Úgy gondolom, hogy az öröm és érdek, melyet önökben e magasztos jelenetek keltettek, egyszersmind hajlandóbbá fogja tenni azon nevezetes eredmények meghallgatására is, melyekhez az újabb természettudományi kutatások a jégvilág főbb jeleneitire vonatkozólag vezettek. A jégnek kicsinyes sajátosságai, melyek más helyen említve, bizonyára a tudományos szórszállhasogatás vádjá alá esnének, itt a jégárban * véghez menő folyamatok legfontosabbjainak magyarázatát adják. Formátlan kötömbök a figyelmes észlelőnek történeteiket mondják el, oly történeteket, melyek gyakran az emberi nem multján túl egész az őskor homályába nyúlnak. Hol az első pillantásra csak vigasztalan magányban messze elterülő pusztaságot, vagy a romboló erők küzd-teréről szolgáló zürzavart látunk, ott később irtóztató erőknek nyugodt, törvényszerű és áldásthozó működése tárul fel szemünk előtt.

Ez alapon merem ígérni, hogy e jelenetek összefüggésének tanulmányozása, bár azzal e helyen csak rövid vázlatban foglalkozhatom, nemcsak prózai oktatást fog önöknek nyújtani, hanem egyszersmind a magas hegység nagyszerű

* Hazánkban jégárok (Gletscher, Ferner, Kees, Glacier) nem lévén, nyelvünkben hiányzik a szó jelzősökre. Mennyiben helyes a jégáram rövidítéséből származtatott jégár kifejezés, az magából ez előadásból fog legvilágosabban kitünni. (A fordító.)

jelenetei felett érzett örömeiket is élénkíteni, érdekeltségöket gazdagítani, s bámulatukat növelni fogja.

Legyen szabad mindenekelőtt a magas hegységek hőmezőinek s jégárainak külső jelenségeit fővonásaiban vázolni, illetőleg e jelenségek emlékét felfrissítenem, hozzácsatolván azt, mivel pontos mérések a közvetlen észleletek eredményeit kiegészítették. Az egyes jelenetek okszerű összefüggésének nyomozására csak azután fogok áttérni.

Mennél magasabbra emelkedünk valamely hegy oldalán, annál nagyobb hideget érzünk. Légkörünk a föld felületén melegítő takaró gyanánt terül el, mely a napnak világító hősugaraire nézve nagy mértékben átlátszó, s így azokat csaknem zavartalanul bocsátja át. A sötét hősugarak ellenben, milyeneket a felhevített földi tárgyak a világűr felé visszasugároznak, e takarón nem bírnak oly könnyen áthatolni. A föld légköre, különösen nedves állapotban, elnyeli azokat, s az így felhevült légtömeg hevét csak lassan adja át a környező világűrnek. A hő kiadása késleltetik ily módon a hő bevételének irányában, s ez által bizonyos hőmennyiség a földfelületen visszatartatik. Magas hegyek fölött a légkör által képezett takaró sokkal vékonyabb, onnét a földszin sugárzó heve sokkal gyorsabban tér a világűrbe vissza, s így ott a felhalmozott hőkészlet és a hőmérséklet is jóval csekélyebb mint alant.

Elhez még a légnek egy más, ugyanazon irányban ható sajátsága is járul. A lég kiterjedése közben ugyanis hőkészletének egy részét elveszti, s így hidegebbé válik, ha csak veszteségét környezetéből felvett hő által nem pótolhatja. Viszont a légnek összenyomatása által, ugyanazon hőmennyiség keletkezik, mely a kiterjedés közben eltűnt. Így például, midőn a déli szelek a középtenger meleg levegőjét észak felé kergetik s az alpok magas hegyszain felemelkedni kényszerítik, úgy ott a lég a légsúlymérő által jelzett csekélyebb nyomásnak megfelelőleg, térfogatának mintegy felével fog kiterjedni, s kell hogy

a mellett jelentékeny lehűtést szenvedjen. A hegység közép-magasságát 11000 lábnyinak feltételezván, e lehülés a lég nedvességi állapota szerint 16 egész 21 Réaumur-féle hőfoknyi lesz. A lég e jelentékeny lehülése közben nedvességének nagy részét eső vagy hó alakjában lerakja. Ha később ugyanazon légtömeg a hegység északi oldalán mint „Föhn“* újra a völgyekbe s síkokra száll alá, úgy újból megsűrődik s egyszersmind újból felmelegszik. Így látjuk, hogy ugyanazon légáram, melyet a hegység innenső vagy túlsó oldalán tűrhetlen melegnek találunk, a magaslaton csipős hideg lehet, s ott havat rakhat le.

A hőmérséklet csökkenése a magasban, mely e két ok következményeképen előáll, már a szomszédos alacsony hegylánczatokon is könnyen észrevehető. Középeurópában a hőmérséklet nyáron át 600, télen pedig 900 lábnyi emelkedésre egy Réaumur-féle fokkal száll alá. Az alpokon, nagyobb magasságuknak megfelelőleg, e hőmérsékleti különbségek is jelentékenyebbek, úgy, hogy a télen esett hó a csücsök és lejtők magasabb részeiről a nyár egész tartama alatt sem képes leolvadni. Azon határvonalat, mely felett a föld színét egész éven át hó takarja, az örökőshó határának nevezzük; e határvonal az alpok északi oldalán mintegy 8000, déli oldalán pedig mintegy 8800 lábnyi magasságban fekszik. Derült napokon az örökös hó határán felül is jó meleg lehet; sőt a napnak gyengítetlen sugárzása, a hóról visszavert fény által erősítve, gyakran annyira tűrhetetlenné válik, hogy a városi utas, ki szeméit e vakító hatás befolyása elől mindenesetre csak sötét szemüveg vagy fátyol segélyével óvhatja meg, arezán többnyire erősen lesülve tér haza, minek folytán a bőr lobosan felduzzad, s felületén nagy hólyagok keletkeznek. A napsugarak hevének bizonyára kedvesebb hirdetői

* A délnyugoti u. n. megfordított pászszátszelek az alpokban.

ama kis alpvirágok, melyek telt színezetükkel s erős illatukkal, hómezők közepette, védett sziklahasadékokban virágoznak. Daczára a nap heves sugárzásának, a lég a hómezők felett rendszeren csak 5° , legfeljebb 8° R. hőmérséketet ér el; a mi különben elégséges a felületen fekvő hórétegek jelentékeny részének megolvasztására. A meleg napok és órák mégis rövidek arra, hogy azon hatalmas hőtömegeket eltávolítsák, melyek a hidegebb időszakban estek. Az örökös hó határának magassága ennél fogva nem egyedül a hegyoldalak hőmérsékétől, hanem az évenként eső hómennyiségtől is függ. Így magyarázhatjuk azon különös tényt, hogy e határvonal a Himalaya déli, nedves és meleg lejtőjén mélyebben fekszik, mint ugyanazon hegység északi, sokkal hidegebb, de egyzersmind sokkal szárazabb oldalán. A havazás az alpokon, nyugoti Európa nedves időjárásának megfelelőleg, nagyon jelentékeny, s ezért ott a jégárak száma és kiterjedése aránylag nagyobb mint másutt, úgy, hogy e tekintetben földünknek csak kevés hegylánczolata mérkőzhetik velők. A jég világát hasonló kifejlődésben, a mennyire ma ismeretes, másutt nem is találjuk, mint legfeljebb a Himalayán, a hatalmas magasság, Grönland s északi Norvégiában a hidegebb időjárás, Island és Újseelandban pedig e vidékek nagyobb nedvessége következtében.

Az örökös hó határán felül fekvő helyek e szerint az által vannak jellemezve, hogy az egész év folyamában felületükre eső hó nyáron át nem bír teljesen elolvadni, hanem részben fekvve marad. A hó, mely egy nyarat kiállott, a nap melegének behatásától továbbra védve lesz az által, hogy a következő ősz, tél és tavasz friss hőtömegeket borít reá. A jövő nyár e friss hőtömegek egy részét is megkiméli; s így egyik év a másik után rakja egymásra a hórétegeket. A hol az ilyen hőtömb meredek szakadással végződik, ott az évi rétegek szabályos egymásra rakódását könnyen felismerhetjük.

Világos azonban, hogy a hórétegek illetén felhalmozódása nem tarthat örökké így, mert akkor a havas csúcsok magassága évről évre szünet nélkül növekednék. Mennél inkább tornyosodik azonban a hó: lejtői annál meredekebbé válnak, s annál nagyobb lesz a teher, mely az alsó, régiebb rétegekre nehezedik, s azokat kiszorítani törekszik. Végre okvetlenül bekövetkezik azon állapot, midőn a hólejtők meredekebbé váltak, semhogy rajtuk friss hó feküdhetnék meg, s midőn a teher, mely az alsó rétegeket lefelé nyomja, oly nagy, hogy ezek a hegy meredek lejtőin helyzetüket tovább megtartani nem képesek. Így kényszerítették az eredetileg a hegység magas, az örökös hó határán felül fekvő pontjain egybegyűlt hótömegnek egy része első fekhelyének elhagyására s új helyzet keresésére, melyet most csak az örökös hó határán alól, a hegylejtők mélyebb részein s különösen a völgyekben fog találhatni. Itt a melegebb levegő behatásának kitéve, megolvad s végre víz alakjában tova folyik. A hótömegek ezen lefelé történő mozgása néha rögtönösen a lavina-görgetegekben, rendszeren azonban csak lassanként, a jégárakban megy véghez.

Két alkotó részt kell tehát a jégmezőkön megkülönböztetnünk. Az egyik a Svájcban firn-nek nevezett, eredeti esésének helyén fekvő hótömeg, az oromhó, mely a csúcsok lejtőit az örökös hó határán felül mindenütt fedi, hol azokhoz tapadni képes, s mely a völgyek felső katlanszerű végeit messze elterülő hómezőkkel, úgynevezett firn-tengerekkel tölti be. A másik a Svájcban „Gletscher“, Tyrolban „Ferner“ nevet viselő jégár, mely a firn-tenger hosszabbodásaként gyakran 4000, sőt 5000 lábbal az örökös hó határa alá ér le, s melyben az oromhó laza tömegeit tiszta, szilárd jéggé alakulva találjuk. Innét leli magyarázatát a „Gletscher“ elnevezés, mely a latin *glacies* (francia nyelven *glace*, *glacier*) szóból származott.

A jégárok külső kinézését legtalálóbban jellemezhetjük, ha azt, mint már Goethe tette, jégből alkotott folyókkal hasonlítjuk össze. A firtengerekből rendszeren az onnét alászálló völgyek mélyében vonulnak el e folyamok, azokat egész szélességükben s gyakran jelentékeny magasságban betöltvén. Utjokban a völgy minden görbületét, tekervényeit, szűküléseit s tágulásait követik. Gyakran két jégár jön össze ott, hol völgyeik egyesülnek. Ilyenkor a két jégár is egy közös árammá egyesül, mely a közös völgyet tölti be. E jégfolyamok helyenkint meglehetősen síma s összefüggő felületet mutatnak, rendszeren azonban hasadékok által vannak átmetszve. A felületen úgy, mint a hasadékokon át kisebb-nagyobb vízercskék esergedeznek, melyek a jég olvadása által keletkezett vizet hordják tova. Ez erecskék patakka egyesülnek, mely a nagyobb jégárok alsó végén levő, pompás kék jégkapu magas boltozata alól szokott előtörni.

A jég felületén rendszeren nagy mennyiségű köporladék és kötömbök hevernek, s ezek különösen a jégár oldalain s alsó végén hatalmas sánczokká tornyosulnak, melyeket a jégár oldal- és végmorénáinak nevezünk. A jégár hosszának mentében ezenkívül még más kősánczokat is találunk, a közép morénákat vagyis guffervonalakat, melyek a felületen mint szabályos sötét vonalak húzódnak végig. E vonalak mindig ott kezdődnek, hol két jégfolyam összeömlik és egyesül. A közép morénák ily helyeken a két jégár egyesült oldal morénáinak folytatásaként tűnnek elő.

A közép morénák keletkezési módját az Unteraargletscher ide esatolt rajza (13. ábra) szembetűnően megvilágítja. Rajzunk háttérében a két jégárt, különböző völgyeken át, jobbról a Schreckhorn, balról a Finsteraarhorn lejtőiről látjuk alászállani. Egyesülésök helyétől fogva a kép közepét elfoglaló kősáncz mint közép moréna húzódik

tova. Balról jégoszlopokon nyugvó szikladarabokat látunk; ezek az úgynevezett jégári asztalok.



13-ik ábra.

További példát e viszonyok felvilágosítására a 14-ik ábra nyújt, mely a Chamouni mellett fekvő „Mer de glace” térképét mutatja, Forbes rajza után.

A Mer de glace, mint tudjuk, tömegére nézve Svájc minden jégárai között leghatalmasabb, habár hossza nem oly nagy is, mint az Aletschgletscheré. Tömegét a Montblanc-tól közvetlenül északra fekvő csúcsok hómezőiről gyűjti. E csúcsok közül többen, mint például a Grande Jorasse, az Aiguille Verte (a, 14. és 15. ábra) az Aiguille du Géant (b), az Aiguille du Midi (c) és az Aiguille du Dru (d) csak két vagy háromezer lábbal alacsonyabbak az európai hegyek fejedelménél. E csúcsok lejtőin és az általuk bezárt katlanokban hómezők terülnek el, melyek

tömegüket három főáramba ömlesztik. Így jő létre a Glacier du Géant, a Glacier de Léchaud és a Glacier du Taléfre, melyek aztán alant egyesülnek, s mint ábránk is mutatja, a Mer de Glace-t alkotják. Hatalmas, 2600—3000 láb széles jégfolyam alakjában száll ez Chamouni völgyébe alá, hol alsó végén *k*-nál egy erőteljes patak, a később az Arve-ba



14-ik ábra.

ömlő Arveyron tör elő. A Mer de Glace legvégső szakadása, mely Chamouni völgyéből is látható, hatalmas jégzuha-

tagot képez s közönségesen Glacier des Boishnak neveztetik, az alatta fekvő falucska neve után.

Chamouni látogatói közül legtöbben megelégedesnek azzal, ha a Mer de Glace alsó részére léptek. Rendesen a montanverti kocsmánál (*m*) lépnek rá, s a szédelgéstől menttek a jégárt keresztben átszelik, hogy a Chapeau (*n*) szembenfekvő házikójához jussanak. Bár ez úton, mint ábránk is mutatja, a jégárnak aránylag csak nagyon kicsiny része tárul fel szemünk előtt: mégis kielégítő képét adja az mind ama nagyszerű jeleneteknek, mind ama fáradsalmak és nehézségeknek, melyek a jégárok között a vándorra várnak. Merészebb utasok a jégáron egészen a csekély növényzettel borított Jardin (*e*) nevű kőszirtig hatolnak, mely a Glacier du Talèfre jégáramát kétfelé bontja. Mások még bátrabban Col du Géant-ig (11000 láb a tenger színe felett) emelkednek, s onnét az olasz oldalra, Aosta völgyébe mennek.

A Mer de Glace felületén négy, középmoréna néven nevezett kőszáncot látunk. Az első, a jégár keleti oldalához legközelebb, a Jardin alsó végén jó létre, ott hol a Glacier du Talèfre két ága egyesül; a második e jégár és a Glacier de Léchaud egyesülésénél, a harmadik ez utóbbinak és a Glacier du Géant-nak összefolyásánál, végre a negyedik azon szirt csúcsánál keletkezik, mely az Aiguille du Géant magaslatáról a Glacier du Géant zuhagata, *g* felé nyúlik.

A jégár hajlását és esését a 15-ik ábra tünteti elő, mely annak hosszmeteszét Forbes méréseinek alapján mutatja. Ábránkon a jégár jobboldali partjának látképe terül el. A betűk ugyanazon pontokat jelelik, mint a 14-ik ábrában; *p* az Aiguille de Léchaud, *q* az Aiguille Noire, *r* a Mont Tacul, *f* a Col du Géant helyzetére vonatkozik. Az utoljára nevezett Col du Géant a legmélyebb pont azon sziklafalak gyűrűjében, melyek a Mer de Glace-t tápláló hómezőket körülveszik.



15-ik ábra

Rajzunk alapjának hossza 2 német (vagyis geográfiai) mérföldnek felel meg; jobb oldalán a tenger színe feletti magasságok angol lábokban vannak kijelölve. Világosan látjuk itt, mily csekély rendesen a jégár esése. Mélységét mind- eddig nem ismerjük pontosan, s így annak előállításánál megközelítő becslésekre kellett szoritzoznunk. Hogy e jégár nagyon mély, azt egyes, véletlen észleletek biztosan mutatják.

A Tacul egy merőleges sziklafalának végén a Glacier du Géant 140 lábnyi magas függőleges jégfallal nyomúl elő. Ez által a jégár egyik felső ágának mélysége legalább annak szélén elő tűnik. A középén és a három jégár egyesülése után e mélységnek természetesen sokkal nagyobb- nak kell lenni. Tyndall és Hirst, kevéssel az egyesülés helye alatt, 160 lábnyi mélységet találtak. Méréseikre egy Moulin (malom), azaz egy olyan akna nyújtott alkalmat, melyen át a jégár felületén csorgó víz annak mélyébe zuhan. Vezetőik azt állították, hogy egy ilyen aknában más alkalommal 350 lábnyi mély-

séget találtak. A jégár fenekét azonban egyik esetben sem érték el. Már a sziklafalak által képezett völgyek öblös vagy hasadékszerű alakjánál fogva sem valószínű, hogy 3000 lábnyi szélesség mellett a mélység középértéke csak 350 lábnyi legyen. Más oldalról a jég mozgásának módja azt bizonyítja, hogy a felső, hasadozott rétegek alatt még hatalmas, összefüggő réteg fekszik.

Hogy e méretek arányairól képzetet alkothassunk, hasonlítsuk azokat ismert tárgyakéhoz; képzeljük magunknak Heidelberg völgyét a Molkenkurig, sőt azon felül jéggel betöltve, úgy, hogy a vár és a város tornyaival benne eltemetve legyen; képzeljük továbbá, hogy e jégtömeg a völgy nyílásától kezdve, folyton magasbodva, Neckárgemündig terjeszkedik s szemünk előtt fognak állani a Mer de Glace alsó egyesült jégfolyamának méretei.

Vagy gondoljuk el, hogy Bingennél a Rajna és a Nahe helyett két jégfolyam egyesül, s hogy az egygyé vált folyam, a Rajna völgyét egészen betöltve, Asmannshausen és Burg Rheinstein romjaig terjed: úgy ezen folyam nagysága körülbelül a Mer de Glace méreteinek felelne meg.

A Gornergletscher, Zermatt mellett, szintén érdekes példában mutatja, mennyire hatalmas a nagyobb jégárak tömege. A 16-ik ábra e jégárnak alsó végét állítja elő.

A jégár felülete többnyire moeskos; tiszta jegét apró kőecsek s kőporladék fedik, melyek mindinkább összehatólnak, a mint a jég alattok és körülöttök inkább és inkább olvad. A jég a felületen, az olvadás következtében, ronsolt és darabos kinézetet nyer. A hasadékok mélyében azonban a jég oly tisztán s átlátszón tündöklök, hogy azt a sík vidéken található jéggel párhuzamba sem helyezhetjük. Tisztsága következtében gyönyörű kék színben pompázik, s színe az ég kékjénél csak kevésbé zöldesebb. E hasadékok, melyekben a jégár belsejének tiszta jége láthatóvá válik, különböző nagyságúak; eleinte csak mint keskeny szakadások jönnek létre, s ilyenkor alig dughatjuk beléjük

tollkésünk hegyét; de aztán lassanként tátongó mélységekké nőnek, melyek nem ritkán több száz söt ezer lábnyi hosszú, hűsz, ötven vagy száz lábnyi szélesek és sok esetben beláthatatlan mélyek. A merőleges, tiszta kék jégfal, a



16-ik ábra.

mint azt a lecsepegő víz csillogóvá teszi, a természet legpompásabb látványainak egyikét mutatja, ámbár azt mindig a veszély izgató érdeke kíséri, s csak olyanok előtt tárul fel, kik a szédelgés minden kísértéseitől mentek. Kell, hogy erősen szegezett czipő és hegyes alpesi-bot segítségével a sikamlós jégen szilárdan meg tudjunk állni, még akkor is, ha lábunk előtt meredek szakadás tátong, melynek feneke ismeretlen mélység sötét homályában vész el. E hasadékokat alig kerülhetjük ki, midőn valamely jégáron átmegyünk; így a Mer de Glace alsó végén, ott, hol az utasok rendszeren átszelik, többször kell vékony s mere-

dek jégpadokon végigmenni, melyek gyakran csak négy vagy hat láb szélesek, s két oldalukon kékellő mélységek nyiladoznak; nem egy vándor, ki sziklaszakadások felett félelem nélkül lépdelt tova, érezte szívét ily helyeken szorulni, s szemét a tátongó mélységtől még el sem fordíthatta, mert lépésről lépésre kellett lábainak elhelyezéséről gondoskodnia. Pedig ezen kék színben tátongó nyílások, ott hol előttünk nyíltan tárulnak fel, távolról sem tartoznak a jégár leggonoszabb veszélyei közé. Mi emberek, az igaz, úgy vagyunk alkotva, hogy a veszély, melyet látunk s épen azért biztosan kikerülhetünk, inkább rémit el, mint az, melynek jelenlétét tudjuk ugyan, de melyet szemünk elöl vékony fátyol fed el. Így teszünk legalább a jégár hasadékaival szemben. E hasadékok a jégár alsó végén halállal s végromlással fenyegetnek, s az utast arra kényszerítik, hogy félénken visszahúzódva, minden okosságát kikerülésökre fordítsa; pedig a balesetek épen ily helyeken legritkábbak. Másként van ez a jégár felső részeiben, ott felületét hó borítja, mely néha kellő vastagságú rétegeket képezvén, négy söt nyolcz láb széles hasadékokat is áthidal, s azokat teljesen befödő boltozatokat képez, úgy, hogy a vándor szemei előtt egyenletes sima hómező látszik elterülni. Ha ezen hóboltozatok kellő vastagságúak, úgy az ember terhét elbírák; de ha nem, akkor egyaránt veszélyesek nemesak az emberre, de még a zergékre nézve is.

E veszélyt, mint ismeretes, legkönnyebben úgy kerülhetjük ki, ha ketten vagy hárman erős kötéllel kötözködünk össze, és pedig oly módon, hogy az egyesek tíz vagy tizenkét lábnyi távolban követhessék egymást. Ha egyik vagy másik a hasadékba esnék, a többiek könnyen visszatarthatják és kihuzhatják.

Ilyenként, és pedig különösen a jégár alsó végének közelében, a hasadékokba be is hatolhatunk. Grindelwald s Rosenlauer jégárainál, vagy más gyakran látogatott jégáraknál a vándor útját jégbe vágott lépcsők s deszka-

padozatok által találja könnyebbitve. Kit a folytonosan leesepegő víz vissza nem riaszt, az ily helyeken a hasadékokban messzire előnyomulhat, s elmerülhet ez üregek csodásan átlátszó, tiszta kristályfalainak bámulatában. A gyönyörű kék színezet, melyben pompáznak, nem egyéb, mint a tökéletesen tiszta víznek színe; mert a esepfolyó víznek, úgy mint a jégnek, egyaránt kék színezete van, de e színezet anyira gyenge, hogy csak tiz lábnyi vagy még



17-ik ábra.

vastagabb rétegeknél tűnik elő. A gení tó és a Garda tavának vize ugyanazon pompás kék szint mutatja, mint a jég.

A jégár nem mindenütt szakadozott; ott, hol a jég ellenálló sziklákhöz szorul, vagy a nagyobb, egyenletesen elhúzódo jégárak közepén, teljesen összefüggő felületre találunk. A Mer de Glace simább részeiről fogalmat nyerhetünk, ha a 17-ik ábrára tekintünk, mely a háttérben látható montanverti házikó alatt elterülő részlet képét adja. A Griesgletscheren, ott, hol a Rhone-völgye és a Tosa-



18-ik ábra.

völgye közötti hágó magaslatát eléri, még lovak is átjárhatnak.

A jégár felületének szakadozottsága ellenben ott a legnagyobb, hol ágyának valamely kevésbé lejtős helyéről lejtősebb helyére megy át. Itt aztán a jég, minden irányban repedezve, nagyszámú jégtuskókra szakad, melyek olvadásuk folytán többnyire meglepő alakú csúcsos szirtekké és gúlakká változnak s időről-időre hatalmas robajjal hullnak a köztük fekvő hasadékok mélységeibe. Messziről az ilyen helyeket megfagyott szilaj vizeséseknek tartanók, s innét ered „Cascade“ elnevezésük. Ily esést a Glacier du Taléfre *l*-nél (14. ábra), a Glacies du Géant *g*-nél képez. Ilyen végre a Mer de Glace alsó vége is. Ez utolsó, a már előbb nevezett Glacier du Bois, mely Chamouni völgyének mélyéből közvetlenül a Heidelberg melletti Königsstuhl magasságára, tehát mintegy 1700 lábnyi magasságra emelkedik, Chamouni látogatói körében rendszeren a bámulat fő tárgyát képezi. Vad, szétszaggatott szirteinek képét a 18-ik ábrában látjuk.

A jégárakat eddig csupán külső alakjuk és megjelenésük szempontjából hasonlítottuk össze a folyamokkal; pedig e hasonlat nem csupán külső, mert a jég a jégárban, lassabban ugyan, de hasonló módon mozog előre, mint azt a víz a folyamban teszi. Hogy ennek úgy kell lennie, az már azon okoskodásból is következik, melylyel a jégárkeletkezését iparkodtam magyarázni. A jégár alsó vége ugyanis olvadás következtében folytonosan fogyva, nemsokára egészen eltűnnék, ha felülről újabb tömegek nem nyomulnának előre, melyek a firn-tengerekre eső hó által mindig újra pótoltatnak.

A jégár mozgásáról figyelmes észlelés mellett szemünkkel is meggyőződhetünk. A jégárak körében fekvő völgyek lakói előtt, kik azokon gyakorta átjárnak, s útjuk megjelölésére a felületükön szerte szét heverő nagyobb köveket használják, e mozgás legelőször az által nyilvánult, hogy ez útmutatók minden év folyamában észrevehetőleg lefelé mozgottak. Ha meggondoljuk, hogy például a Mer de Glace

alsó fele évenként 400 sőt 600 lábbal tolódik el: úgy érteni fogjuk, miszerint ez eltolódásoknak minden lassúságuk dacára, még a jégárak hasadékainak s kőtorlaszainak tömkelegében is, előbb-utóbb fel kellett ismertetniök. A kövek mellett egyéb véletlenül a jégárra jutott tárgyak is tova hordatnak. Az 1788-ik év folyamában Saussure, a lires genfi természetbuvár, fiával és egy vezetők és hordárokból



19-ik ábra.

összeállított karavánnal a Col du Géant magaslatán tizenhat napot töltött. Lejövetic alkalmával a Glacier du Géant

esése (g, 19-ik ábra) melletti sziklákon egy falétra maradt vissza. Az Aiguille Noire tövénél, tehát ott történt ez, hol a Mer de Glace negyedik közép morénája kezdődik. Ezen moréna egyszersmind az irányt is kijeleli, melyet a jég mozgása követ. Forbes s vele más utasok e létra töredékeit 1832-ben, tehát 44 évvel később, a Mer de Glace három jégárának egyesülési pontja alatt s közelében (19-ik ábra) találták. A jégár eme részei tehát évenként mintegy 375 lábbal mozogtak lefelé.

1827-ben Hugi az Unteraargletscher közép morénáján egy kunyhót épített, melyben észleléseit eszközölte; e kunyhó helyzete általa s később Agassiz által ismételve meghatároztatott, s e mérések folytán kitűnt, hogy a kunyhó évenként mélyebbre tolódott; 1841-ig, tehát 14 év alatt, 4884 lábbal haladt előre, s így évenként átlagosan 349 párisi lábnyi utat futott be. Agassiz saját kunyhója, mely ugyanazon jégáron épült, valamivel csekélyebb sebességgel mozgott. Az eddig említett észleletek hosszú időközöket igényeltek. Pontos mérő-eszközök, például theodolitok használata mellett azonban szükségtelen évekig várunk, s már egyetlen nap elegendő a jég mozgásának kimutatására.

Ily módon újabb időben több észlelő, különösen Forbes és Tyndall eszközöltek méréseket. Ezek szerint a Mer de Glace közepe naponként 20 hüvelyknyi sebességgel mozog, sőt e sebesség az alsó végesés felé naponként 35 hüvelyknyivé fokozódik. Télen e sebesség mintegy felényi. E mozgás az oldalszélek közelében és a mélyebb rétegekben a vízfolyamok módjára lassúdik.

A Mer de Glace felső mellékáramai ugyancsak csekélyebb mozgást végeznek; a Glacier du Géant naponként 13 hüvelykkel, a Glacier du Léchaud pedig csak $9\frac{1}{2}$ hüvelykkel nyomul elő. Különböző jégárakban a sebesség egyáltalában különböző; terjedelmük s hajlásuk, a hóesés mennyisége, s egyéb tényezők folynak be a mozgás nagyságára.

A jégár iszonyú jégtömege ekként ugyan lassan s esendesen, a futólagos észlelő előtt észrevétlenül, óráról-órára alig egy hüvelykkel (a Col du Géant jége a Mer de Glace alsó végét csak 120 év alatt érheti el), de a mellett feltarthatlan hatalommal nyomul előre; az akadályokat, melyeket emberi kéz rakhatna útjába, szalmaszálak gyanánt eltiporva, s még a völgy gránit szikla falain is szembetűnő nyomokat hagyva hátra. Mikor nedves évek sorozata után, valamely jégár alsó vége a fent busásan esett hó nyomása következtében előre tolódik, olyankor nemcsak esetleg útjában álló emberi lakokat s erős fatörzseket tör össze, hanem saját morénájának roppant kötömbökből felhalmozott domb-sorait is maga előtt tolja, a nélkül, hogy azok által bármi kevéssé akadályoztatni látszanék.

Nagyszerű látvány e mozgás, oly esendes és folytonos s a mellett mégis annyira hatalmas s ellenállhatatlan!

A jégtömegek mozgási módja, a mint azt itt leírtuk, a jégár hasadékeinak helyzetével és irányával szorosan összefügg, úgy, hogy lehetségessé válik abból ezekre következtetnünk. A jégár különböző rétegei ugyanis különböző sebességgel haladván, világos, hogy egyes pontjai a többiek irányában elmaradnak, mint például a szélek mentében elvonuló jégtömegek, a középben fekvőkhöz képest. A távolság egy a jégár közepén és egy a szélén fekvő pont között ily módon, az elsőnek nagyobb sebessége folytán, növekedni fog azon pillanattól kezdve, midőn azok egy magasságban fekszenek. Ilyenkor a két pontot összekötő jég nem bírván távolságuk növekedésének megfelelőleg kiterjedni, megreped s hasadékokat képez, minőket például a Zermatt mellett elnyúló Gornergletscher rajzán (20. ábra) a jégár szélének mentében látunk. Nem akarok itt mélyebben behatolni azon szabályos hasadék-rendszerek keletkezésének magyarázatába, melyek bizonyos helyeken minden jégáron fellelhetők; elég az, ha megemlítem, hogy az eddig felsorolt okoskodá-

sainkból folyó következtetések a jégárazon eszközölt észleletekkel tökéletesen megegyeznek.



20-ik ábra.

El nem hallgathatom azonban azt, hogy már nagyon csekély eltolódások száz meg száz hasadékokat képesek létrehozni. A Mer de Glace hosszmetézetében oly helyeket találunk, hol a felület hajlása 2—4 fokkal, tehát alig észrevehetőleg változik. S mégis már e csekély változás is elegendő arra, hogy a keresztben futó hasadékok egész rendszerét hozza létre. Tyndall pontos mérések és számítások alapján kiváló súlyt fektet arra, hogy a jégár jégtömege nyújtó erőknél legkevésbé sem képes engedni, hogy tehát az ily befolyásoknak kitéve mindenkor megszakad.

A jégár tömegének mozgása még a felületén szétszórt kövek elrakódásának magyarázatára is szolgálhat. E kövek azon hegyek töredékei, melyek között a jégár elvonul. Részint a kőzet elmállása, részint a repedéseiben megfagyó víz által lepattantva, rendesen a jégár szélére hullanak. Ott vagy mindjárt a felületen fekvé maradnak, vagy a hótömegekbe mélyen befuródnak s aztán a felső rétegek olvadása folytán később mégis a felszínre jutnak. A mint a jégár alsó végén a kötőrédek közötti jég folytonosan olvad, úgy torlódnak azok mind jobban össze. A kötőmbök, melyek így lassanként a jégár alsó végeig hordatnak, részben óriási méretűek. Régi és új végmorénákban kétemeletes házak nagyságával versenyző sziklatömböket találunk.

A jégáron heverő kötőrédek rendesen oly pályákon mozognak, melyek a hossziránnyal s egymás között is párhuzamosak.

A kövek, melyek egyszer a jégár közepére jutottak, a közepén is maradnak, s melyek a szélére jutottak,



21-ik ábra.

azok a szélén is mozognak tovább. Ez utóbbiak számosabbak s pedig azért, mert a kövek a jégár egész útjának mentében hullhatnak a szélére, de nem a közepére. Így keletkeznek a jégtömeg szélén az oldalmorénák, melyeknek kötömbjei részben a jéggel tova mozognak, részben pedig lecsúsznak, s a jég mellett a szilárd sziklatalajon fekvé maradnak. Mikor azonban két jégfolyam egyesül, akkor összeütköző oldalmorénáik az egyesült folyam közepén foglalnak helyet, s aztán mint középmorénák egymáshoz és a folyam partjaihoz párhuzamosan tolódnak előre, végig kijelelvén azon jégtömegek határát, melyek eredetileg a jégár egyik és másik mellékágához tartoztak. Az ilyen morénák felette érdekesek, mert kimutatják, hogy a jégfolyam egymás mellett fekvő egyes részei mennyire szabályos s párhuzamos szalagokban csúsznak lefelé. Egy pillantás a Mer de Glace térképére s az ott végig futó négy középmorénára, elég arra, hogy állításunk helyességét bizonyítsa.

A Glacier du Géant felső részén, valamint folytatásán, a Mer de Glace áramában, a felületen elszórt kövecsek váltakozva szűkebb s fehérebb gyűrűkben csoportosulnak s így a jégen azon évgyűrűket alkotják, melyeket először Forbes vett észre. Az által, hogy a *g* melletti (21. ábra) cascadeban nyáron át több jég csúszik alá mint télen, a jégár felülete a cascade alatt lépesőzetessé válik, s mivel e lépesőzet meredek, észak felé fordított lapjai kisebb mértékben olvadnak, mint a felső sík lapjai, azért azok jege tisztább fog maradni mint ezeké. Tyndall véleménye szerint az említett szennyes szalagok valószínűleg ily módon keletkeznek. Eleinte csaknem egyenesen futnak a jégáron át; alantabb azonban, minthogy középső részeik gyorsabban mozogva végeik elé tolódnak, ívalakot öltenek, mint azt a 19-ik ábra mutatja. Az észlelő görbületükön közvetlenül leolvashatja a különbséget azon sebességekben, melyekkel a jég árama különböző részeiben előre nyomul.

Egészen más szerepet játszanak azon kövek, melyek a jégtömeg alsó lapjához tapadnak, s melyek részben a hasadékokon át hullottak oda, részben talán a völgy fenekéről törettek le. Ezek a kövek ugyanis a felettök fekvő jégtömeg óriási terhe által a jégár ágyának talapzatához szoríttatnak s azon a jéggel együtt lassan odébb tolatnak. A jéghez tapadó kövek és a talapzat sziklái egyaránt kemények, mégis kölesönös surlódásuk által porrá őröltetnek s pedig oly hatalommal, melyhez képest az ember minden erő kifejtése elenyészik. E surlódás rendkívül finom kőlisztet eredményez, mely a víz által elmosva, lent, a jégár patakjában tűnik elő, a mint annak rendesen fehéres vagy sárgás iszapos kinézést kölesönöz. A völgyfenék sziklái pedig, melyeken a jégár dörzsölő erejét évről-évre gyakorolja, mintegy óriási csiszoló gép által csiszoltatnak. Gömbölyded, simára csiszolt dudorodások alakjában maradnak hátra e sziklák, itt-ott keményebb kövek által bevájt karczolatokkal. Ily alakban látjuk őket a jelenkori jégárak szélein, midőn ezeknek jégtömegei, meleg és száraz évek sorozata után, ágyukba jobban visszahúzódznak mint rendesen. Mint őskori óriás jégárak maradványait még sokkal nagyobb kiterjedésben találjuk e lecsiszolt sziklákat az alpok számos völgyeinek alsó részében. Így különösen jellemzők azon csiszolt sziklafalak, melyekkel az Aar völgy mentében egész Meyringenig találkozunk. Ott találjuk ama híres csiszolt kőlapokat is, melyeken az út átvezet, s melyek annyira simák, hogy az emberek és a lovak csak az oda bevert vasabroncsok segélyével tudnak rajtuk átmenni.

A jégárak egykori roppant kiterjedéséről a lecsiszolt sziklákon kívül még a régi moréna sánczok és a tovahordott kőtömbök is tanúskodnak. A jégárak által tovahordott kőtömbök, a víz által legurított szikla-töredékektől, óriási méreteik, le nem tompított ép szögleteik s végre különösen az által különböznek, hogy a jégár a különböző kőzetek töredékeit ugyanazon sorrendben rakja le, melyben azok a

hegygerinczet építik fel, melyről a kőtömbök leszakadtak; míg a vízfolyamok a tova hengergetett köveket minden különbség nélkül össze-vissza keverik.

A geológok ez ismertető jelekre támaszkodva kimutatták, hogy a jégárok hajdanta Chamounitól, a Monte Rosától, a Gotthardtól s végre a berni Alpoktól kezdve az Arve, Rhone, Aare és a Rajna völgyein át egész a Svájc lapályosabb részeig s a Juráig terjedtek, hol kőtömbjeiket a Neufchатели tó mai színe felett több mint 1000 lábnyi magasságban rakták le. Őskori jégárok hasonló nyomaira az angol szigetek és Skandinavia félszigetén is találunk.

Az északi tengerek jéghegyei ugyancsak a jégárok szülöttei; Grönland jégárai tolják a tengerbe az iszonyú jégtömeget, melynek egyes elszakadt részei jéghegyekként úsznak tova. Kisebb arányokban Svájcban is láthatjuk a jéghegyek képződési módját a kis Märjelen tavon, melybe a nagy Aletschgletscher jégtömegének egy része tolódik. Sziklatöredékek jéghegyeken hosszú tengeri utakat futhatnak be. Valószínű, hogy ama nagyszámú gránittömbök, melyek északi Németország síkjain hevernek s melyeknek gránitja azonos azzal, mely Skandinavia hegységeit alkotja — jéghegyek által hordattak oda, ugyanazon korszakban, midőn Európa hegységeinek jégárai oly roppant kiterjedésűek voltak.

Szorítkozzunk ez alkalommal a jégárok őskori történetét illetőleg e néhány megjegyzésre s térjünk vissza a jelenkor folyamatainak vizsgálatához.

Az eddig felsorolt tények azt bizonyítják, hogy a jégár jege a nyúlósan folyó anyagok módjára mozog, tehát körülbelül úgy, mint a mézből, kátrányból vagy sűrű agyagpépből alkotott folyam. A jégtömeg ugyanis talapzatán nem sikamlík oly egyszerű módon előre, mint azt lejtős helyeken lecsuszamló, szilárd testek teszik, hanem bensejében meghajlik s összetolódik, s e közben a völgy

fenekével határos részei az erős surlódás folytán mozgásban jelentékenyen akadályoztatnak; míg a jégár felületének közepe, mely a völgy talapzatától s oldalfalaitól legtávolabb fekszik, aránylag legsebesebben mozog. Rend u savoyai lelkész, és Forbes a híres skót természetbuvár voltak az elsők, kik a jégár hasonlatosságát a nyúlósan folyó anyagok folyamával kellőleg kiemelték.

Tisztelt hallgatóim talán meglepetve kérdezik: miként lehet az, hogy a jég, ezen minden ismert testek között a legmerevebb s legtörékenyebb anyag, a jégárban mégis nyúlós folyadék módjára mozogjon? hajlandók lesznek talán ez állításomat a legtermészetellenesebb s legábrándosabb nézetek egyikének nevezni, melyeket a természettudósok mind ez ideig felállítottak. Be is kell vallanom, hogy maguk e természettudósok buvárlataik ezen eredményei által nem csekély zavarba hozattak. De a tények ellenében a tagadásnak nem volt helye. Mi módon történhetik azonban a jégnek ily sajátságos mozgása, az sokáig titokszerű maradt, s pedig annyival inkább, mivel a jég ismert törékenysége magukban a jégárakban is nyilvánul a hasadékok nagy száma által. Ez utóbbi körülmény, mint azt Tyndall helyesen kiemeli, a lényeges különbséget képezi, mely egyrészt a jégfolyamok, másrészt a láva-, kátrány-, méz- vagy iszapfolyamok között fennáll.

E különös rejtély megoldásához — mint az különben a természettudományok körében gyakran megesik — látzólag távolesó buvárlatok vezettek. Azon buvárlatokat értem, melyek a hő természetének kutatására voltak irányozva, s az újabb természettan egyik legnagyobb jelentőségű vívmányához, a mechanikai hőelmélet megállapításához vezettek. A legkülönbözőbb természeti erők kölcsönös viszonyainak felderítése közben, a mechanikai hőelmélet alapelvei azon összefüggés felismerését is előkészítették, mely a víz fagyáspontja és azon nyomás között áll fenn, mely a vízre és a jégre gyakoroltatik.

A hőmérő léptékének egyik állandó pontját, az úgynevezett fagypontot, vagy nulla-fokot akként szoktuk meghatározni, hogy a hőmérőt tiszta víz és jég keverékébe helyezzük. A víz jéggel érintkezvén, a fagypont hőfokán alul le nem hűlhet a nélkül, hogy maga is jéggé ne válnék; a jég pedig a fagypontnál magasabb hőfokot el nem érhet, ha csak meg nem olvad. Jég és víz keveréke ennél fogva csak az egyetlen nulla-fokú hőmérséklet mellett állhatnak fenn.

Ha az ilyen keveréket aláhelyezett láng által melegíteni iparkodunk, úgy a jég megolvad ugyan, de a keverék hőmérséklete mindaddig nem emelkedik nulla-fokon felül, míg csak valami kevés jég olvadatlanul marad. Az odavezetett hő ennél fogva nulla-fokú jeget nulla-fokú vízzé alakít, a nélkül, hogy a hőmérő hőmérséklete észrevehető változást szenvedne. A természettudósok ilyenkor azt mondják, hogy az odavezetett hő lappangóvá vált, hogy tehát a nulla-fokú víz bizonyos lappangó hőmennyiséggel többet tartalmaz az ugyanazon hőmérsékletű jégnél.

Ha megfordítva a jég és víz keverékéből hőt vezetünk el, úgy a víz lassanként megfagy, de a hőmérsék azért állandóan nulla marad mindaddig, míg a meg nem fagyott víznek bármi csekély nyoma van jelen. A nulla-fokú víz e közben, lappangó hevén túladvá, nulla-fokú jéggé vált.

A jégár jégtömegén át, minden irányban, vizerek csergedeznek, s így hőfoka belsejének minden pontjában a fagypont hőfokával egyenlő. Úgy látszik, hogy azon magasságban, melyet az alpok lánczolata elér, még a firntengerek mélyebb rétegeinek is mindenütt ugyanazon hőmérséke van. Mert habár e magaslatok frisen esett hava többnyire hidegebb nulla-foknál, de az első meleg napsugár felületét megolvasztván, vizet képez, mely az alantabb fekvő hidegebb rétegekbe szivárog s ott aztán ismét megfagy, s ez mindaddig ismétlődik, míg az illető réteg hőmérséklete egész kiterjedésében a fagypontot eléri. A hőmérséklet e

pillanattól kezdve változatlan marad. A meleg napsugarak ugyanis a jég felületét megolvasztani igen, de nulla-fokon felül melegíteni nem képesek; a tél hidege pedig a hőt rozszúl vezető hó és jégtömegek mélyébe ép oly nehezen tud behatolni mint pinczéinkbe. Ezek szerint úgy a firntengereknek, valamint a jégárak belsejének hőmérséklete változatlanul a fagyponton áll.

A víz fagypontjának hőmérséklete azonban erős nyomás folytán megváltozik. James Thomson Belfastban s vele csaknem egyidejűleg Clausius Zürichben a mechanikai hőelméletből vonták e következtetést, sőt annak alapján az illető változás nagyságát is előre meg tudták mondani. Számításaik szerint a fagypont hőmérséklete $\frac{1}{144}$ Reaumur-féle fokkal száll alá mindannyiszor, valahányszor a nyomás egy légköri nyomással nagyobbíttatik. A fent nevezettnek öcsese, W. Thomson, a híres glasgow-i physikus, a jégnek és víznek keverékét arra alkalmas erős edényben nyomta össze, s az elmélet eredményét kísérletileg igazoltnak találta. A keverék csakugyan folyvást hidegebbé és hidegebbé vált, a mint a nyomás nagyobbodott, s pedig éppen annyival, mint azt a mechanikai hőelmélet követelte.

Midőn a jég és víz keveréke nyomás befolyása alatt hidegebbé válik, a nélkül azonban, hogy tőle hő vonatnék el, akkor ez csakis annyiban történhetik, a mennyiben a szabad hő egy része lappangóvá válik, azaz a mennyiben a keverék jegének bizonyos része megolvadván, vízzé alakul. Ebben kell keresnünk okát annak is, hogy a mechanikai nyomás a fagypontra befolyást gyakorol. Tudják önök, hogy a jég nagyobb tért foglal el, mint a víz, melyből képződik. Zárt edényben fagyó víz nemcsak üvegpalczkokat, hanem vas bombákat is képes szétrepereszteni. Az által tehát, hogy a jég és víz összenyomott keverékében a jégnek egy része megolvad és vízzé alakul, az által az egész tömeg térfogata kisebbedik, s így könnyebben engedhet a reá nehezedő nyomásnak, mint azt a fagypont változása nélkül

tehetné. A mechanikai nyomás ez alkalommal — mint az egyébiránt a különböző természeti erők kölcsönös behatásánál többnyire történik — olvadást okozván, egy oly változás létrejöttét segíti elő, mely saját tevékenységének kifejtésére is kedvező.

W. T h o m s o n említett kísérleténél a víz és a jég együtt erős edénybe voltak zárva, melyből mi sem folyhatott ki. Másként áll a dolog, ha, mint a jégáraknál, az összenyomott jég közé zárt víz hasadékokon kiszivároghat. Ilyenkor csupán a jég van alávetve a nyomásnak, a víz pedig nem, mert az kitérhet előre. Az összepréselt jég ilyenkor hidegebbé válik s pedig azért, mert fagypontja alább száll, a nélkül azonban, hogy a nyomástól ment víz fagypontja alább szállana. E viszonyok között tehát nulla-fokúnál hidegebb jég nulla-fokú vízzel jó érintkezésbe. A következők bizonyára az lesz, hogy a víz a jégnek összeszorított részei körül folytonosan fagy és új jeget képez, míg más oldalról az összeszorított jégnek egy része leolvad.

Ez történik már akkor is, ha két jégdarabot egymáshoz préselünk; ilyenkor ugyanis az érintkezési felületükön megfagyó víz köztük szoros kapcsolatot képez s őket összefüggő jégdarabbá egyesíti. Ha nagy nyomásokat alkalmazunk, melyek megfelelőleg a jeget is nagyon lehűtik, úgy e folyamat gyorsan fog véghez menni, de kisebb nyomásnál is észlelhető lesz az, ha csak a kellő időig várunk. F a r a d a y, e tünemény felfedezője, azt a jég regelatiójának (összefagyódásának) nevezte; magyarázata sok vitára adott alkalmat; én itt azon nézetet védtem, melyet legkielégítőbbnek tartok.

Két jégdarab illetően összefagyasztása tetszőleges alakú darabokkal sikerül, ha nulla-foknál nem hidegebbek, s különösen ha már olvadásnak indultak*.

* Az előadásban később leírandó módon készült, kicsiny jég-hengerek sík véglapjaikkal egymáshoz nyomattak, s ekként henger-alakú jégpálcza készíttetett.

Néhány pillanatig kell csak e darabokat erőteljesen összehúzni, s azok egymáshoz fognak tapadni. Mennél simábbak az érintkező felületek, annál teljesebben forradnak egybe. Nagyon csekély nyomás is elégséges lesz, ha a jég-darabokat hosszú ideig hagyjuk érintkezni*.

Az olvadó hó eme tulajdonságát a gyermekek is felhasználják, midőn hólapdákat s hóembereket készítenek. Ismeretes, hogy ezek csak olyankor sikerülnek, mikor a hó vagy már magából olvadásnak indult, vagy legalább a kéz melege által olvadásának hőfokaig hevithető. A nagyon hideg hó száraz, laza s össze nem tapadó port képez.

A mit a gyermekek hólapdáik készítése közben kicsinyben tesznek, az a jégárakban a lehető legnagyobb méretekben megy véghez. Az eredetileg laza s porlékony oromhó alsó rétegei a felettők gyakran több száz lábnyira tornyosuló hótömegek által összenyomatván, folytonosan sűrűbb és szilárdabb szerkezetet nyernek. A frissen esett hó eredetileg finom, szabad szemmel alig kivehető jégtücskékből áll, melyek csinos, tollak módjára rojtozott, hat oldalú csillagokká vannak összerakva.

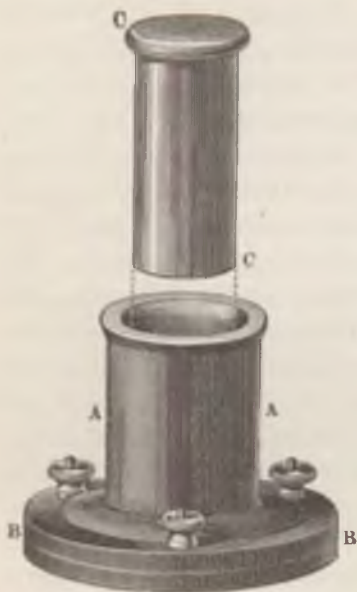
A hómezők felső rétegei azonban a nap hevének kitéve megolvadnak, s a mint az így keletkezett víz a hótömegek belsejébe szivárog és ott hidegebb hópelyhekre talál, újra megfagy, s így a havat egyszersmind szemcséssé teszi s a fagyponthőmérsékletére emeli. Az alsó rétegekre nehezedő hótömegek folytonosan növekedő súlya alatt a hó egyes szemcséi lassanként összetapadnak s egészen tömött, kemény jégtömeggé egyesülnek.

Kellő nyomás alkalmazása mellett a hónak jéggé alakítását mesterségesen is eszközölhetjük.

Egy henger alakú öntött vas edény *AA* áll itt előttünk (22-ik ábra); fenéklapja *BB* három csavarral van leerősítve, úgy, hogy azt akkor leemelhetjük, midőn az

* Lásd a függelékét ez előadás végén.

edényben képzett jéghengereket ki akarjuk szedni. Az edényt, miután az jeges vízben nulla fokig lehűttetett, hóval tömjük tele, s aztán belső üregébe vizsajtó segítségével a CC dugattyút toljuk, mely azt teljesen kitölti ugyan,



22-ik ábra.

de abban mégis könnyen ide-oda csúszhat. A vizsajtó alkalmazása lehetségessé teszi, hogy a hóra gyakorolt nyomás ötven légköri nyomással felérjen. A laza hó ily hatalmas nyomás alatt természetesen nagyon kis térfogatra szorúl. Ez első művelet után megszüntetjük a nyomást, kiemeljük a dugattyút s a henger üres részét újra hóval töltvén meg, újra összenyomjuk, s így folytatjuk e műveletet mindaddig, míg az egész minta jéggel telt meg, mely a nyomásnak többé nem enged. Ha most az összepréselt havat kiveszem, úgy látni fogjuk, hogy az egy egészen kemény, éles

szögletű s gyengén áttetsző jéghengerré vált. Mennyire kemény e tömeg, arról önök is meggyőződhetnek a roppanás által, melyet akkor hallanak, midőn azt a talapzatra hajítom.

A miként a firn-hó a jégárakban tömött jéggé préseltek, ép úgy a másutt támadt szabálytalan alakú jégtöredékek tömött és átlátszó jégtömbbé egyesülnek. Legszembetűnőbben történik ez a jégár eséseinek tövével. Vannak oly jégáresések, melyeknél a jégár felső része meredek sziklafalon végződik, úgy, hogy arról a jégtömbök e fal szélén, megannyi lavina gyanánt, csúsznak alá. A széttördelt jégtömbök halmazai, a mint az ily alkalommal lent összegyűl,

a sziklával tövénél újra összefüggő jégtömeggé egyesül, mely útját alant ismét jégár alakjában folytatja. Az ilyen eséseknél, melyekben a jégár folyama egyszerre megszakad, sokkal gyakrabban fordulnak elő az oly helyek, hol a völgy alja gyorsan lejtősebbé válik, mint ez a Mer de Glace alján azon helyeken történik, melyekről már előbb szólottunk. Ilyenek a Cascade du Glacier du Géant (14. ábra g) és a Glacier des Bois nagyszerű végesése. Itt a jég ezer meg ezer szirtre és oszlopra szakad, melyek az utóbb meredekebb lejtő végén újra egygyé forradnak. Vasmintánkban e folyamatot is utánozhatjuk. A hó helyett, melyet imént tömtem belé, most apró, szabálytalan alakú jégdarabokkal töltöm meg, s miután ezeket összenyomtam, az edény üres részébe újra jeget tömök, s azt újra összepréselem, így folytatván e műveletet mindaddig, míg a minta egészen megtelik. Ha most a benlevő tömeget kiemelem, úgy látjuk, hogy az egy összefüggő, szilárd és meglehetősen tiszta jéghengert képez, melynek szögletei élesen kinyomódtak, s mely a mintába tökéletesen bele illik.

E kísérlet, melyet először Tyndall vitt véghez, világosan mutatja, hogy még a kész jégtömböt is lehet viaszkmódjára minden alakba préselni. Könnyen jöhetnénk a gondolatra, hogy az ilyen tömb a sajtó nyomása folytán előbb finom porrá zúzatik, s aztán a minta minden sarkát ily alakban tölti ki, s hogy e jégpor összefagyás által a hónak módjára forr ismét egygyé. Annnyival inkább gondolhatnók ezt, mivel a préselés folyama alatt a minta belsejében folytonosan recsegést és ropogást hallunk. Azonban már a jégdarabokból préselt hengerek pusztá megtekintése is világosan mutatja, hogy nem ily módon keletkeztek. E hengerek egészben véve átlátszóbbak, mint a hóból készült jég; belsejükben pedig még megkülönböztetjük, bár kissé megváltozott s összenyomott alakban, az egyes jégdarabokat, melyeket felhasználtunk. Legszebben tűnik ez elő, ha a mintába tiszta jégdarabokat rakunk s a köztük nyíló ürege-

ket hóval tömjük tele. Ilyenkor a henger váltakozva átlátzó s homályos rétegekből fog állni; az elsők a jégdarabokból, az utóbbiak a hőtömegből keletkeznek. A tiszta jégdarabok ez esetben lapos korongokká látszanak préselve.

Maguk e kísérletek már elég világosan mutatják, hogy a jég, mielőtt kényszerített alakját felvenné, nem morzsolatlik szét, tehát hogy összefüggésének elvesztése nélkül is bír a nyomásnak engedni. Még sokkal feltűnőbb módon győződhetünk meg erről, s egyszersmind a jég engedékenységeinek okát is jobban felismerhetjük, ha a jeget nem a mintának szemeink elől elzárt üregében, hanem szabadon, két falemez között nyomjuk össze.

A préselő lapok közé legelőbb is egy durván faragott, hengeralakú, természetes jégdarabot fogok helyezni, mely a folyam felületéről metszetett ki, s két sík határlappal lett ellátva. Most a prést megszorítom; a jégoszlop a nyomás folytán széttörik; minden szakadás, mely keletkezik, az oszlop egész vastagságát átfutja, s az nagyobb töredékek halmozára bomlik, melyek még jobban széthullanak, ha a prést tovább szorítom. Ha megszüntetem a nyomást, úgy jöllehet a jégtöredékek összefagyás által ismét a szabálytalan lemeznek egy nemévé egyesültek, mégis félreismerhetetlen jeleit fedezzük fel annak, hogy az új alak nem annyira a jégtömb engedékenysége, mint inkább széttörése folytán jött létre, s hogy az egyes töredékek egymás iránti helyzetüket egészen megváltoztatták.

Másként áll a dolog, ha a préselő lapok közé a hó vagy jégből préselt hengerek egyikét helyezem. A mint a prést megszorítom, az ilyen henger is recsegni s ropogni fog, de azért nem törik szét, hanem alakját lassanként változtatja, folyvást alacsonyabb, s megfelelőleg vastagabbá válik, s csak midőn már meg lehetőszen lapos koronggá alakult, kezd szélén repedezni, kis mértékben mintegy jégárhasadékokat képezvén. A 23-ik ábra egy ilyen henger

magasságát s átmérőjét a préseltetés előtt, a 24-ik ábra ugyanazt a préseltetés után mutatja.

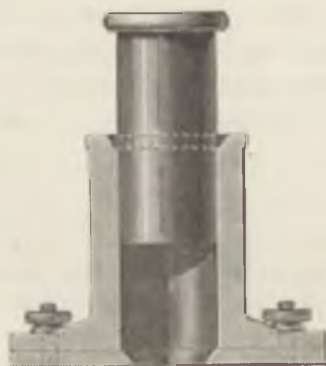


23-ik ábra.



24-ik ábra.

A jég engedékenységeinek még döntőbb próbája az lesz, ha a mintában formált hengerek egyikét szűk nyíláson préseljük át. E célból a már előbb leirt henger alakú mintára egy fenéklapot erősíték, melybe kúpmódjára szűkülő,



25-ik ábra.

s a hengeralakú üreg átmérőjének kétharmadával egyenlő nyílás fúratott. (A 25-ik ábra az egészek átmetszetét mutatja.)

Ha most a mintába az előbb abban összepréselt hengerek egyikét helyezem, s a dugattyút leszorítom, úgy a jég a fenék szűkebb nyílásán átfurakodni kényszerül. Eleinte a nyílás átmérőjével egyenlő átmérőjű, tömött henger gyanánt látjuk azt ki-nyomulni. Mivel azonban a jég a nyílás közepén gyorsabban tolul előre, mint a szélein, azért a henger szabad végfelülete csakhamar domborodni, végső része pedig vastagodni fog, annyira, hogy azt a nyíláson többé vissza nem húzhatjuk, utóvégre is meg fog az hasadni. A 26-ik ábrán *a*, *b*, és *c* azon alakok sorozatát mutatják, melyek ily módon jönnek létre.



26-ik ábra.

A kifakadó jég hengerek hasadécai feltűnően hasonlítanak a jégár azon hasadécaihoz, melyek annak hosszában oly helyeken futnak végig, hol a jégár szűk szikla-kapun át tágabb mederbe nyomul*.

A most leírt esetekben a jég alakváltozását szemünk előtt látjuk véghez menni, s látjuk, hogy a jég a nélkül, hogy egyes darabokra széthullna, összefüggő szerkezetét egészen véve megtartja. Sőt a rideg jégtömb viasz módjára látszik nyúlódni.

* E kísérlet kivitele közben az összepréselt jég alacsony hőmérséke gyakran annyira elterjed, hogy a fenéklap és a henger közötti hasadéokban a víz vékony jég lappá fagy, bár a jégdarabok és a vasminta előzetesen jegesvízben feküdtek, tehát nulla foknál hidegebbek nem voltak.

A tiszta jégdarabokból összepréselt, átlátszó henger pontosabb vizsgálata a prés megszorítása közben arról is felvilágosítást ad, a mi ilyenkor a jéghengernek belsejében történik. Ilyenkor rendkívül finom, szerte-szét ágazó repedéseket látnunk mérhetetlen számban, borús felhő gyanánt szétlövelni. Igaz, hogy e finom repedések már a következő pillanatokban eltűnnek, ha a prést nyugalomba helyezzük, de nyomuk még mindig megmarad. Az ilyen tömb közvetlenül a kísérlet kivitele után észrevehetőleg homályosabb, mint azelőtt volt, s nagyító üvegek használata mellett meggyőződhetünk arról, hogy e homályosodást azon hajfinomságú fehéres vonalak okozzák, melyek a különben tiszta jégtömeg belsején vonulnak át. E vonalak fénytani kifejezései azon rendkívül finom hasadékoknak*, melyek a jég tömegét átszelik.

Azt következtethetjük ezekből, hogy a számtalan finom repedésektől s hasadékoktól átszaggatott jégtömb engedékenységet annak köszöni, hogy részecskéi, majd a nagyobb nyomás elől kitérve, kissé eltolódnak, majd ismét összefagyás által a hasadékrendszerek eltűnését okozzák, a hasadékok üregeinek nyomait csak ott hagyván hátra, hol az eltolódás folytán a jégrészecskék egybe nem vágó felületeket kaptak. A hasadékok ekként hátramaradó nyomai a behatoló fény visszaverődése folytán fehéres vonalak és felületek gyanánt tűnnek elő.

* E hasadékok valószínűleg üresek s légmentesek; mert ép így fejlődnek ki akkor is, ha tiszta, légmentes jégdarabokat a teljesen vízbe merített vasmintában préselünk össze, midőn tehát lég semmiképen nem juthat a jéghez. Hogy hasonló légmentes hasadéköregek a jégárakban előfordulnak, azt már Tyndall kimutatta. Midőn később a préselt jég lassankint megolvad, e hasadékok tökéletesen megfellek vízzel, a nélkül, hogy légbuborékokat hagynának hátra. Ilyenkor persze sokkal nehezebben lesznek felismerhetők, s az egész tömb átlátszóbbnak fog mutatkozni. Látszik ebből, hogy kezdetben vízzel teltek nem lehetnek.

E repedések s válaszfelületek a préselt jégben akkor is érdekes szerepet játszanak, mikor azt, közvetlenül a préselés után, mely alatt hőmérséke nulla foknál alább szállott, újra fellemelegedni s olvadásnak indulni engedjük. Ilyenkor a hasadékok vízzel telnek meg, s az ilyen jég apró, gombostűfő vagy legfeljebb borsó nagyságú szemecskékből áll, melyek csipkéikkel s kiszögeléseikkel egymásba nyúlnak, s helyenkint még akkor is összetapadnak, mikor a hasadékok közöttük vízzel teltek meg. Az ilyen szemecskékből összerakott jégtömb erősen összetart, habár éleiről körmünkkel apró darabkákat tördelvén le, azokon e sokélű, szemecses alakot könnyen felismerhetjük. Ehhez hasonló szerkezetet mutat a jégár olvadó jége, azon egy különbséggel, hogy a darabok, melyekből össze van téve, többnyire nagyobbak, mint a mesterségesen préselt jégnél, s néha galambtojásnyi nagyságot érnek el.

E szemecses szerkezet az, mi a jégár jegét s a mesterségesen összepréselt jeget a csendes vizek felületén képződő, szabályosan kristályos jégtől megkülönbözteti. A jég e két neme között hasonló különbséget találunk, mint a mészpát és márvány között, melyek egyaránt szénsavas mészből állnak, csak hogy az első nagy és szabályos kristályokat képez, az utóbbi pedig szabálytalanul egybeszórt kristályos szemecskékből van összerakva. A kés hegyével létrehozott repedések a mészpátban, úgy mint a kristályos jégben messze kiterjednek, míg a szemecses jég valamely szemecséjében keletkező hasadék csak ritkán lép át a szemese határain.

A hóbul mesterségesen préselt jég, mely már eredeténél fogva rendkívül finom kristály-tükből van összetéve, mintalásra különösen alkalmasnak mutatkozik. Az ilyen jég külső látszatára nézve nagyon különbözik a jégár jegétől, mert a hó pelyhes tömegébe zárt lég, az összepréselés után, apró buborékok alakjában, marad hátra, s a jeget zavarossá teszi.

A zavaros közeget átlátszóbbá tehetjük, ha az ilyen jéghengert falapok közt újra összepréseljük; ilyenkor a légbuborékok a henger felületéről finom tajték módjára illannak el. Ha a képződő jégkorongot ismét eltörjük, s darabjait a vasmintába rakván, újra hengerré préseljük, úgy e művelet többszörös kivitele után a levegő a jégből mindinkább kiüzetik, s az folyvást tisztábbá és átlátszóbbá válik. Hasonló módon alakul át az oromhó fehéres tömege lassanként a jégár tiszta, átlátszó jégébe.

Ha végre hó és jégdarabok keverékéből préselt, szalagos jéghengereket korongokká nyomunk össze, úgy azokban is finom szalagzatokat találunk, a mennyiben az átlátszó és a fehéres rétegek egyaránt szétnyulódnak.

Az ilyen szalagos jég, mely számtalan jégárban előfordul, Tyn dall értelmezése szerint, valószínűleg úgy jön létre, hogy a jégesések szétálló tömbjei közé hó esik, s hogy a hó és tiszta jég e keveréke a jégár későbbi menetében ismét összepréseltetik és lassankint kinyújtatik, ép úgy, mint ezt előbb mesterségesen eszközöltük.

Látják tisztelt hallgatóim, hogy a jégár, rendetlenül egymásfelé tornyosuló jégtömbjeivel, köves és piszkos jégfelületével, veszélyes hasadékaival együtt a természetbúvár szemében méltóságos folyamhá válik, mely csendesebben s szabályosabban halad előre, mint bármely más folyam, s mely biztos törvények szerint kiterjed vagy összeszorul, feltorlódik, vagy odaverődve s szétroppanva a mélységbe szakad. Kövessük a jégárt legalsó tövéig, úgy ott az olvadás által létre hozott vizet erős patak alakjában, a hatalmas jégkapun kitörni s tovafolytati látjuk. Igaz, hogy az ilyen patak a mint a jégár alján előbukkan, meglehetősen piszkos s iszapos külsővel bír, mert még mindazon kő porladékokat magával hordja, melyeket a jégár lecsiszolt. Ábrándjainkban csalattatva érezzük magunkat, midőn az oly szép és tiszta jeget annyira iszapos vízzé változtatva találjuk. Mind a mellett, valójában véve, maga a jégár-patakok vize ép oly

szép és tiszta, mint a jég, melyből keletkezik, csak hogy e szépsége eleinte rejtve marad. Keressük fel e patakokat, miután egy tavon futottak át, s abban porladékaikat lerakták. A genfi, thuni, vierwaldstätti tavak, a Bodensee, a Lago di Maggiore, a Lago di Como és Lago di Garda nagyrészt jégárak vizével táplálkoznak; s vizük tisztasága és csodálatosan szép, kék, vagy kékes-zöld színe minden utazót bámulatra ragad. De tekintsünk el a szépségtől s keressük a hasznost, s még sokkal több okunk lesz a bámulásra. A disztelen köpor, melyet a jégárpatakok tova mosnak, ott hol lerakodik, a tenyésztésre nagyon előnyös talajt képez. E talajt jóvá teszi egyrészt rendkívül finom mechanikai szerkezete, másrészt azon körülmény, hogy teljesen szüzsies állapotában a növények táplálkozására szükséges ásványrészeket nagy mértékben tartalmazza. A Rajna völgyén, finom rétegekben egész Belgiumig húzódó agyag, az úgynevezett lösz, nem egyéb a jégárak lerakódott köporánál.

Nagyon előnyös valamely vidék természetes megöntözésére nézve is, ha az a magas hegyek hómezői és jégárai által eszközöltetik.

Az ily vidék vízben aránylag gazdag szokott lenni, mert a nedves lég a hideg magaslatokra fúvatván, ott víztartalmának nagy részét hó alakjában adja le. Előnyére válik azonban azon körülmény is, hogy a hó leginkább nyáron olvad, s hogy így a hómezőkről lefutó források épen azon évszakban legdúsabbak, melyben a talajnak vízre legégetőbb szüksége van.

A mondottak után a vad, holt jégsviatagok egészen új fényben tűnnek szemeink elé, belőlök meritik az erecskék ezrei, a források s patakok azon termékenyítő nedvet, mely az alpok szorgalmas lakójának lehetővé teszi, hogy a vad hegyoldalakon buja zöldet s bőséges eledelt állítson elő. Ők hozzák létre az alpok aránylag kis felületén a hatalmas folyamokat, a Rajnát, Rhonet, Pótot, az Etschet és Innét,

melyek Európát, száz meg száz mértföldnyi hosszóságban gazdag és széles völgyekkel metszik át, kiterjedvén egészen az északi és középtengerig, a feketetengerig s az Adriáig. Emlékezzünk vissza arra, mily nagyszerűen jellemezte G ö t h e Mahomet énekében a sziklaforrás futását, a felhők feletti eredetétől egészen az Oceánnal való egyesüléseig. Vakmerőség volna, ha e képet utána, nem saját szavaival festeném:

S diadalszekerén
Harsogva a mint megy,
Bírodalmaknak nevet ad
És városok kelnek lába nyomán.

Feltarthatlan rohan —
Tornyok csillámló kupjai,
Márvány-paloták,
Miket ő hozza létre,
Maradnak utána.

Czédru palotákat
Hord órjas vállain, Atlásként,
Fölötte ezer lobogó
Susog a szélben
Hirdetve dicsét.

Igy viszi testvérít,
Kincsét, fiait
Öröndobogással a váró
Apa híi kebelére.*

* Szász Károly fordítása.

FÜGGELÉK.

A jég regelatiójának elmélete egy felől Faraday és Tyndall, más felől J. és W. Thomson között tudományos vitára szolgáltatott alkalmat. Előadásomban ez utóbbiak elméletét fogadtam el, s e választásomat e helyen igazolni szándékozom.

Faraday kísérletei azon eredményre vezettek, hogy nagyon csekély nyomás, sőt már maga a két jégdarab közt elterülő vízrétegnek capillaris nyomása is elegendő arra, hogy e jégdarabok összefagyását eszközölje. Hogy azonban Faraday kísérleteinél a nyomás, mely a jégdarabokat összefűzte, nem csupán a capillaris nyomás volt, azt James Thomson már ezelőtt megemlítette. Magam kísérletek alapján győződtem meg arról, hogy e nyomás valóban nagyon csekély lehet. Csakhogy tekintettel kell lennünk arra, hogy mennél csekélyebb a nyomás, annál hosszabb az idő, mely alatt a jégdarabok összefagnak, s hogy ilyenkor összekötő kapcsaik nagyon keskenyek és törékenyek. Mindkét körülmény J. Thomson elméletében könnyű magyarázatra talál. Hiszen csekély nyomásnál a jég és víz hőmérsékletei egymástól csak nagyon kevéssel különböznek, s így a jég préselt részeivel érintkező vízrétegek lappangó hőtartalmukat csak nagyon lassan adhatják át, tehát csak hosszú idő alatt fagyhatnak meg. Tekintettel kell lennünk arra is, hogy az egymást érintő jégfelületeket rendesen nem szabad egybevágóknak tartanunk; s így ezek gyenge nyomás alatt, mely alakjukat kellőleg módosítani nem bírja, csak oly csekély felületi részecskében fognak érintkezni, melyet jogosan három pontnak mondhatnánk. Ily csekély felületre szorítva, még a csekély összes nyomás is hozhat létre helyenkint jelentékeny nyomásokat, melyeknek befolyása alatt valami kevés jég megolvad, s aztán a képződött víz újra megfagy. Igaz, hogy ilyenkor csak laza egyesülés jó létre.

Erősebb nyomásnál, mely a préselt jégdarabok alakját jobban képes módosítani s egymáshoz alkalmazni, s mely az érintkező ki-

szügelések erélyesebb olvadásával jár együtt, egyszersmind nagyobb különbség áll elő a jég és víz hőmérséke között, úgy, hogy az összekötő kapcsok gyorsabban képződnek és vastagabbak lesznek.

A csekély hőmérséki különbségek lassú hatásának kimutatására következő kísérletet vittem véghez: Egy kihúzott nyakú üveglombikot felényire vízzel töltöttem meg, s azt addig forraltam, míg a gőz a lombikból minden levegőt kiszorított, végül aztán a forró lombik nyakát beforrasztottam. Kihülése után a lombik légüressé válik, a benne foglalt víz pedig a légkör nyomása alól felszabadul. Mivel az így bezárt víz jóval nulla fok alá hűthető le, a nélkül, hogy az első jeget képeznél, de nulla foknyi hőmérsék mellett is tovább fagy, mielőtt a jég képződése megkezdődött, azért a lombikot előbb hideg keverékbe helyeztem, mindaddig, míg annak vize jéggé alakult, s ezt utóbb $+ 2^{\circ}$ hőmérsékű térben lassankint felényire olvasztottam.

Erre a lombik, melynek vizén még egy jégkorong úszott, egészen körülburkoltatott a jég és víz keverékével. Körülbelül egy óra lefolyása után a belső jégkorong a lombik falához volt fagyva. Rázás által újra szabaddá tettem a korongot, de az ismét oda fagyott, midőn a lombikot a víz és jég keverékébe helyeztem, s ez történt valahányszor e műtét ismételtetett. A lombikot egy ízben 8 napon át a jég és víz nulla fokú keverékében hagytam. Fenekén ekkor a vízben szabályos, élesen határolt jégkristályok keletkeztek, melyek nagyon lassan nőttek. Talán ez a legalkalmasabb mód, szépen kifejlődött jégkristályok előállítására.

Mig tehát a külső, a légkör nyomásának alávetett jég lassan olvadozott, az alatt a belső víz, melynek fagyypontja a légköri nyomás hiánya folytán $0,0075^{\circ}$ fokkal a nulla felett fekszik, jégkristályokat képezett. A vízből elvezetett hő a lombik üvegfalának egész vastagságán kénytelen áthatolni, mi a hőmérséki különbség kicsinségével együtt a fagyás lassúságának magyarázatára szolgálhat.

Ha most tekintetbe vesszük, miszerint a légkör nyomása folytán minden négyszög milliméterre mintegy 10 grammnyi nyomás esik, úgy azon eredményhez jutunk, hogy egy 10 gram súlyú jégdarabka egy másikkra nehezedvén s azt három csúcsban érintvén, melyeknek érintkezési felülete összevéve egy négyszög milliméterrel egyenlő, az érintkező csúcsoknál már egy légköri nyomással egyenlő nyomást hoz létre, s így a jégképződést a környező vízben még könnyebben eszközölheti, mint az a lombikban történt, hol a jég és víz közé az üvegfal tolódtott. Kisebb súlyú jégdaraboknál is megtörténik ez körülbelül egy óra lefolyása alatt. A mint azonban az újonnan képződött jég az érintkezési helyeket szélesbíti, s ez által a felső jégdarabka nyomása nagyobb felületre oszolva gyengébbé válik, így gyenge nyomás mellett az

összekötő kapcsok már csak lassan és kevésvel fognak növekedhetni, s a darabok végre könnyen szét lesznek törhetők.

Kétséget nem szenved különben, hogy Faraday kísérleteinél, midőn két átlukgatott jégkorong egy vízszintes üvegrúdon a súly nyomásától menten helyeztetik egymasmellé, a capilláris vonzás maga elég arra, hogy néhány gramnyi nyomást hozzon létre. Előre bocsátott okoskodásaink pedig azt mutatják, hogy kellő időtartam alatt az ily nyomás is elégséges a korongok felületeinek összefagyasztására.

Ha ellenben e jégkorongokat kezünkkel erősen összenyomjuk, úgy azok már néhány pillanat múlva oly bensőleg összetapadnak, hogy elválasztásuk nagy erőmegfeszítést igényel, s néha pusztá kézzel nem is sikerül.

Kísérleteim közben egyáltalában azt találtam, hogy a jégdarabok egybeforradásának bensősége és gyorsasága az alkalmazott nyomás erősségével oly szoros összeköttetésben áll, hogy annak alapján a nyomást minden habozás nélkül az egyesülés elégséges okának kell tekintenünk.

Faraday magyarázatában, mely szerint a regelatió a jég és víz érintkezése folytán, s pedig mint szorosan vett érintkezésbeli hatás menne véghez, egy elméletileg homályos pontot látok. A víz megfagyása közben jelentékeny mennyiségű lappangó hőnek kell felszabadulnia, s Faraday nézetét követve be nem láthatjuk, hová rejtőzik ez.

Feltéve végre, hogy az átmenet jégből vízbe valami sűrűn folyó középállapoton át történék, úgy a jég és víz keverékét napokon át nulla fokú hőmérsékleten tartván, előbb-utóbb egész tömegének ez állapotot kellene felvenni, mihelyt t. i. e hőmérséklet az egész tömegben egyenletesen elterjedt; ilyesmi azonban soha sem történik.

A jég formázhatóságát (plasticitását) illetőleg James Thomson oly magyarázatot adott, melynél a repedések keletkezése a jég belsejében semmi szerepet nem játszik. S valóban kétségtelen az, hogy midőn valamely jégtömeg, belsejének különböző részeiben, különböző nyomásoknak van kitéve, akkor az erősebben nyomott jég egy része leolvad, mit a kevésbé nyomott jég s a környező víz lappangó hűvével elősegít. Így a préselt helyeken olvadás, a nem préselteken pedig fagyás állván be, csakugyan lehetséges volna, hogy ily módon a jég lassankint új alakot öltön. De másrésztől világos az is, hogy a jégnek nagyon rossz hővezető képessége mellett az ily folyamat csak rendkívül lassan mehetne véghez akkor, midőn a préselt és hidegebb jégrétegek, mint a jégárakban, nagy közök által választatnak el a kevésbé préseltéktől és a víztől, melyből az olvadásra szükségelt hőt merítik.

Ez elmélet megvizsgálása czéljából, hengeralakú üvegedényben, két 3 hüvelyk átmérőjű jégkorong közé, egy kisebb mintegy 1 hüvelyk átmérőjű hengeralakú jégdarabot helyeztem, s azután a felső jégkorongra egy fakorongot, erre pedig 20 fontnyi súlyt raktam. Ily módon a keskenyebb darab keresztmetszete több mint egy légköri nyomásnak vettettet alá. Az edény ezután mindenestül jégdarabok közé állítva, 5 napon át oly szobában őriztetett, melynek hőmérséklete kevésse a fagypont fölött állott. Ily körülmények között az üvegedényben a súly nyomása alatt álló jégnek olvadnia kellett, s azt lehetett várni, hogy a keskeny henger, melyre a nyomás legerősebben hatott, leggyorsabban olvadjon. Valami kevés víz csakugyan keletkezett is, de leginkább a nagyobb jégdarabok rovására, melyek felül s alul feküdvé az olvadásra szükséges hőmennyiséget a külső jég- és vízkeverékből az edény falain át legkönnyebben vehették fel. Ugyanakkor ott, hol a keskenyebb jégdarab az alsó, szélesebbre támaszkodott az érintkezési felület körül kicsiny sáncz képződött frissen keletkezett jégből, mely világosan bizonyítja, hogy a víz, mely a nyomás befolyása alatt jött létre, újra megfagyott azon helyeken, hol a nyomás hatása megszűnt. E körülmények daczára nem lehetett a középső, legerősebben préselt jégdarabon észrevehető alakváltozást kimutatni.

E kísérletből kitűnik egyrészt, hogy a jégdarabok alakváltozásának hosszú idő alatt J. Thomson magyarázata értelmében, tehát azon egy körülmény folytán is véghez kell menni, miszerint az erősebben préselt részek folytonosan olvadnak és a jég a nyomástól ment helyeken újra keletkezik. Másrészt azonban ugyanezen kísérlet mutatja azt is, mily rendkívül lassan megy véghez ott az átalakulás, hol azon jégdarabok vastagsága, melyeken át az olvasztásra szükségelt hó vezettnék, csak némileg jelentékeny. Hiszen mindenütt 0° hőmérsékű környezetben, leolvadás folytán, jelentékeny alakváltozás nem jöhet létre a nélkül, hogy a hó kívülről vagy a nem préselt jég és vízből oda vezettnék, e hővezetési folyamat pedig az itt szerepet játszó csekély hőmérsékli különbségek és a jégnek rossz hővezető képessége mellett csak nagyon lassan mehet véghez.

Hogy ellenben a repedések keletkezése s felületeiknek eltölódása az alakváltozást, különösen a szemesés jégre nézve, lehetővé teszi, azt a fent leirt kísérletek világosan mutatják. S hogy a jégár jegében csakugyan mennek véghez ilyenmő alakváltozások, arról a többi között nemcsak szalagos szerkezetiük, hanem az olvadás alkalmával előtűnő szemesés összerakódásuk, s az a mód is tanuskodik, a mint a rétegek mozgásuk közben fekvésüket változtatják. Nem kételkedem tehát azon, hogy Tyndall a jégárak mozgásának lényeges és főokát jelelte ki, midőn e jelenséget repedések keletkezésére s a regelatióra vezette vissza.

Nem szabad felednünk azt sem, hogy a nagyobb jégárak mozgásánál, a surlódás folytán, jelentékeny hőmennyiségnek kell keletkezni. Számítások mutatják, hogy mialatt valamely hőtömeg a Col du Géant magaslatáról az Arveyron forrásáig száll alá, azalatt a mechanikai munka folytán oly hőmennyiség jő létre, mely a hőtömeg tizennegyed részét bírná megolvasztani. A mennyiben pedig a surlódás a jégtömegnek legerősebben préselt pontjain bizonyára a legnagyobb, annyiban világos, hogy a surlódási hő a jégnek éppen azon darabjait fogja leolvasztani, melyek annak tovamozgását leginkább akadályozzák.

Meg akarom végre említeni, hogy a jégnek fent leírt szemcsés szerkezete polárizált fényben nagyon szépen tűnik elő. Ha a vasmintában egy kicsiny tiszta jégdarabot mintegy 5 millimeter vastagságú koronggá préselünk, az elég átlátszóvá válik arra, hogy vizsgálatnak vethessük alá. A polarizáló készülékkel vizsgálva, belsejében különböző színezetű gyűrűk s mezők sokaságát látjuk, s a színek rendjéből az egyes jég-szemcsék határait felismerhetjük, a mint minden irányban szertehányt fénytani tengelyekkel a lemezt összerakják. A látvány, lényegében véve, ugyanaz kezdetben, midőn a lemezt a présből kivéve, abban a repedések még finom fehér vonalak által nyilvánulnak, mint később, midőn már az olvadás kezdődik s a hasadékok vízzel telnek meg.

Hogy a jégdarabok átalakulásuknak folyama alatt is összefüggők maradnak, azt ama körülmény magyarázza, miszerint a szemcsés jég repedései nem szokták annak tömegét egészen átmetszeni. Közvetlenül látjuk ezt a jég préselése alkalmával. Ilyenkor hasadékok keletkeznek, melyek különböző irányokban ezikázva terjednek el, körülbelül úgy, mint a repedések, melyeket hevített vasdróttal üvegszövön hozunk létre. Valami csekély ruganyossága a jégnek is van, mint azt vékony és hajlékony jéglemezekben láthatjuk. Lehetségessé teszi ez, hogy az ilyen megrepesztett jégdarabban a hasadékokat képző oldal-falak egymásfelé szorittassanak, még az esetben is, midőn azok a jégdarab meg nem hasadt részében folytonosan összefüggnek. Mihelyt aztán a hasadéknak előbb keletkező része regulatió folytán ismét bezáródott, akkor tovább repedhet a nélkül, hogy a jégdarab összefüggése csak egy pillanatig is megszakított volt. Kötesnek tartom azon nézetet is, mely szerint a látszólag sokszögű szemcsékből álló jég, a mint préseis által, vagy a jégárakból nyerjük, mielőtt azt elbontani törekednénk, már is teljesen külön vált szemcsékből lenne összerakva, s inkább hiszem, hogy a szemcsék törékeny jégkapcsokkal vannak egybefűzve, melyek azoknak halmazát aránylag szilárdan kötik össze.

A jégnek itt leírt tulajdonságai a physika szempontjából is érdekesek, mert nem tudok más példát, melyben valamely kristályalakú test átalakulása szemcsés szerkezetűvé, s ezen alakváltozással együttl

járó egyéb változások oly világosan tűnnének elő, mint az itt a jégre nézve történt. A természetben előforduló testek legnagyobb részének nincs szabályosan jegezes szerkezete; elméleti okoskodásaink pedig csaknem kizárólag csupán a jegezes és tökéletesen ruganyos testekre alkalmazhatók. Epen ezért tartom az átmenetet a törékeny és ruganyos jegezes jégből a formázható szemcsés jégbe különösen érdekesnek.

M Ű S Z Ó K.

Guffervonal, *Gufferlinie.*

Hómező, *Schneefeld*

Hóomlás, *Lavine.*

Jégár, *Glacier, Gletscher, Ferner,*
Kees.

Jégári asztal, *Gletschertisch.*

Jégesés, *Eiscascade.*

Lappangó hő, *Latente Wärme.*

Moréna, *Moräne.* — Oldal-, vég-,
közép-moréna, *Seiten-, End-,*
Mittelmoräne.

Oromhó, *Firnschnee, Firn.*

NÉPSZERŰ
TUDOMÁNYOS ELŐADÁSOK.

MÁSODIK FÜZET.

ELŐSZÓ

a második füzethez.

Midőn ezennel népszerű előadásaim és értekezéseim második füzetét bocsátom a közönség elé, csak néhány, az egyes czikkekre vonatkozó megjegyzéssel kell kiegészítenem azt, mit már az első füzet előszavában mondtam.

E czikkek közül az első, második és harmadik, melyek a látás elméletével foglalkoznak, a „Preussische Jahrbücher“ czimű folyóiratban már előbb megjelentek, s ezért, bár előadások alapján keletkeztek, mégis inkább szemle-czikkek alakját vették föl. Minthogy második kinyomatásuk alkalmával lehetőségessé vált egyes kérdéseket ábrák által jobban megvilágítani, mint előbb ábrák nélkül történhetett, néhány fametszetet csatoltam e műhöz s a szöveget szükséges magyarázatukkal egészítettem ki. Újabb kísérletek eredményei a szövegben még más, csekély változtatásokat igényeltek.

A negyedik értekezést, „a természeti erők csere-hatásairól“, mely már ezelőtt 16 évvel kinyomatott, újból eszközölt lenyomatása alkalmával ugyancsak nem lehetett egészen változatlanul hagyni. Az ilyen változtatásoknál azonban csak a legszükségesebbekre szorítkoztam, csak ott

nem mulasztva el a változtatást, a hol határozottan bizonyított új tapasztalati tények járultak a régiekhez és az akkor fennállott nézeteket időközben részint megerősítették, részint módosították.

Az ötödik előadás „az erő megmaradásának elvéről“, a negyedik tartalmának egy részét bővebben fejti ki. Célja leginkább az, hogy a munka fogalmát s annak változatlanságát lehető világosan megmagyarázza. Az erő megmaradása elvének alkalmazásai és következtetései aránylag könnyebben foghatók fel, s újabb időben többek által már annyira világosan és érdekesen állítottak össze, hogy az ezen elvet tárgyaló előadásaimnak szorosan azokra vonatkozó részét bővebben kidolgozni szükségtelennek tartom, annyival is inkább, mivel az oda tartozó tárgyak legfontosabbjainak némelyike valószínűleg már a közel jövőben, a mainál sokkal pontosabb kidolgozásra lesz megérve.

A tárgy alapfogalmait illetőleg azonban mindig azt találtam, hogy azokat olyanok, kik a matematikai mechanika iskoláján át nem mentek, minden szorgalmuk, elmességük, sőt természettudományi ismereteik daczára nagyon nehezen felfoghatóknak gondolják. De nem is szabad felednünk, hogy egészen sajátságos nemű elvont tárgyat képeznek. Hiszen megértésük még egy oly elmének is, mint Kant, csak nehezen sikerült, ezt bizonyítja legalább Leibnitz ellen intézett polemiája. Fáradságra méltónak tartottam azért a nevezett alapfogalmakat ismertebb mechanikai és physikai példákkal megvilágítani, s ezért egyelőre amaz előadási sorozatból legalább az elsőt kiadni, mely e feladat megoldásával foglalkozik.

Az utolsó az e füzetben foglalt előadások közül eddig csak rövid és sajtóhibák által elferdített kivonatban jelent meg a német természetbuvárok innsbrucki nagy gyűlésének napi lapjában. Nem kidolgozott kézirat, hanem csak rövid jegyzetek alapján tartottam azt, s kidolgozását csak egy évvel később fejeztem be. Az itt közölt kidolgozás tehát nem tart igényt arra, hogy amaz előadásnak szószerinti lenyomata legyen. Figyelmem inkább oda irányult, hogy ezt a jelen gyűjtemény keretéhez alkalmazzam, a mennyiben kidolgozásánál csak röviden tárgyaltam azon kérdéseket, melyek e gyűjtemény más czikkeiben már bővebben kifejtettek. Jogosultságot a helyre, melyet elfoglal, az által nyer, hogy szorosabb kapcsolatba igyekszik foglalni azon nézeteket, melyek a megelőző értekezésekben előadattak.

A szerző.

ÁZ ÚJABB HALADÁSOK A LÁTÁS ELMÉLETÉBEN.

ELŐADÁSOK,
tartattak majnai Frankfurtban és Heidelbergben.

Kidolgoztattak
a „Preussische Jahrbücher“ 1868-ik évi folyama számára.

I.

A SZEM OPTIKAI KÉSZÜLÉKE.

Az érzékek élettana oly határterületet képvisel, melyen az emberi ismeretnek a természeti és szellemi tudományok elnevezése alatt külön választatni szokott két nagy osztálya kölcsönösen egymásba fogódnak; a hol kérdések merülnek fel, melyek mindkettejüket egyenlően érdekelve, csakis mindkettejük közös munkája által oldhatók meg. Legelső sorban ugyan az élettan csak testi szervekbeli testi változásokkal foglalkozik, az érzékek élettana tehát legelső sorban az idegekkel és ezeknek érzéseivel, a mennyiben ez utóbbiak az idegek ingerületi állapotai. De mindazáltal a tudomány

már csak azért sem kerülheti ki, hogy midőn az érzéki szervek működéseit vizsgálja, ne szóljon egyszersmind a külső tárgyak észrevevéseiről is, melyek éppen az idegeknek ezen ingerülete által közvetítve jönnek létre; már csak azért sem, mert gyakran éppen az észrevevésnek létezése a különben fel nem fedezendő idegingerületet, vagy ennek valamely módosulatát árulja el. Külső tárgyak észrevevése azonban mindenesetre képzelő tehetségünknek öntudattal kísért cselekménye, tehát pszichikai művelet. Sőt mentül mélyebbre hatolt a nevezett működések pontosabb vizsgálata, annál szélesebbre terjedő területét ismertette meg oly szellemi működéseknek, melyeknek eredményei már a látszólag legközvetetlenebb érzéki észrevevésben fekszenek elrejtve és a melyek eddig csak azért jöttek keveset szóba, mert hozzá voltunk szokva valamely adott külső tárgynak befejezett észrevevését maga az érzék által közvetetlenül nyújtott és tovább nem elemezendő egésznek tekinteni.

Alig szükséges, hogy felhívjam itt a figyelmet azon alapfontosságra, melylyel a buvázkodásnak éppen ezen területe a tudomány majdnem valamennyi többi ágára kihat. Mert végre is az érzéki észrevevés szolgáltatja közvetlenül vagy közvetve az anyagot minden emberi ismerethez, vagy legalább is az alkalmat az emberi szellem valamennyi veleszületett képességeinek kifejtésére. Az szolgáltatja az alapot az ember minden tevékenységére a külvilág irányában, s ha tehát az itt nyilvánuló szellemi tevékenységek még a maguk nemében a legegyszerűbbeknek és a legalacsonyabbaknak látszanának is, azért nem kevésbé fontosak és érdekesek. S alig van ki-látás, hogy valaki a megismerés végeztéljához el fog jutni, ki nem a kezdetből indult ki.

Ez itt az első eset, melyben a természettudományi téren nagyra növekedett kísérleti művészet a szellemi működéseknek néki eddig annyira hozzáférhetetlen mezejére behatolhatott; egyelőre ugyan csak annyiban, a mennyiben

lehetséges kísérlet által az érzéki benyomásoknak nemeit meghatározni, melyek öntudatunk elébe majd ezt a szemléleti képet, majd amaszt juttatják. Azonban már ebből is sokféle következtetések vezethetők le a közreműködő szellemi folyamatok mivoltát illetően; így tehát meg akarom kísérteni ezen értelemben az említett élettani vizsgálatok eredményeiről számot adni.

Erre engemet különösen még azon körülmény indít, hogy csak legújabbán fejezván be az élettani optika * átdolgozását teljes kiterjedésében, örömmel használom fel az adott alkalmat, hogy azt, a mi az ide vonatkozó nézetek és következtetések közül ama lényegileg természettudományi czélokra szánt könyvben, számtalan részletek közt, netalán elrejtőznék vagy elveszne, áttekinthetőbb vázlatban összeállítsam. S megjegyzem még, hogy ama munkámban különösen törekedtem minden, csak némileg is fontos tényállás felől saját tapasztalás és saját kísérlet által magannak meggyőződést szerezni. Nincs is többé már komolyabb vita az észleleti tények lényegesebb pontjai felett, hanem legfőlebb csak némely egyéni különbségek terjedelmére nézve az érzéki észreves egyes osztályainál. A szemgyógyászat nagyszerű lendületének befolyása alatt épen az utolsó években jelentékeny buvárok nagy számmal foglalkoztak a látérzék élettanával, és a mely arányban az észlelt tények tömege nőtt, a szerint lettek azok a tudományos rendezésre és tisztázásra is hozzáférhetőbbekké. Egyébiránt a tárgyba beavatott olvasók fogják tudni, hogy mennyi munka vált szükségessé e téren némely aránylag egyszerű és majdnem önként érthetőnek látszó tényt megállapítani.

Hogy a későbbi következtetések teljes összefüggésükben megérthetők legyenek, legelőbb is jellemezni fogjuk a szemnek, mint optikai eszköznek, természettani szolgálatát,

* Handbuch der Physiologischen Optik von H. Helmholtz, neunter Band von G. Karsten's allgemeiner Encyclopädie der Physik. Leipzig 1867.

azután tárgyalva az ingerület és vezetés élettani folyamatát az idegrendszernek a szemhez tartozó részeiben, végre át fogunk térni azon pszichologiai kérdésre, miként keletkeznek idegingerületekből érzéki észrevévések. A vizsgálódás első, természettani része, melyet itt csak azért sem mellőzhettünk, mert a következőnek lényeges alapját képezi, kénytelen lesz ugyan sokfélét, mi már tágas körben ismeretes, csak azért ismételni, hogy az újat be lehessen közéje osztani. Másfelől azonban a vizsgálódás épen ezen része magasabb érdeket kelt egyébképen, az által tudniillik, mert lényeges alapjává vált azon rendkívüli fejlődésnek, melyet a szemészet az utolsó husz év alatt elért, oly fejlődésnek, mely gyorsasága és tudományos jellemének mivolta által az orvostan történelmében talán páratlan. Nemcsak az emberbarát örvendhet ezen vívmányok felett, melyek által annyi nyomor, melylyel szemközt a régibb korszak tehetetlenül állott, kikerülhető vagy eltávolítható, de a tudománybarát is talál okot különösen büszke örömmel tekiatni rájuk; mert félreismerhetetlen, miszerint e haladás nem keresgető tapogatódzás és szerencsés rátalálás, hanem szigorúan következetes nyomozás által vívatott ki, mely további sikerek kezességét rejti magában. Valamint a csillagászat volt egykor a mintakép, melyen a természettani tudományok a helyes módszer eredményének biztonságát tanulhatták felismerni, úgy mutatja fel szembeszökő módon a szemgyógyászat most, hogy mit lehet elérni jól megértett vizsgálati módszerek kiterjedt alkalmazása és helyes belátás által a tünetek okozatos összefüggésébe a gyakorlati gyógyászatba is. Nem lehet pedig a felett csodálkozni, hogy a küzdőter, mely a tudományos értelemnek és a munkát kedvelő szellemi erőnek a természet ellenzékés hatányai felett új és szép győzelmeket ígért, s az alkalmas képességeket is maga felé tudta vonzani; míg abban, hogy olyanok annyian jelentkeztek és összegyűlekeztek, épen ezen fejlődés meglepő sebességének lényeges oka kereshető. Legyen szabad közülök három

rokon néptörzsnek egy-egy képviselőjét megneveznem: Albrecht v. Graefe, Donders Utrechtben, Bowman Londonban.

Ezen fejlődéssel szemben még más örömet is érezhet a komoly buvárlat barátja, midőn Schillernek a tudományról mondott értelemmély szavára gondol:

Wer um die Göttin freit, suche in ihr nicht das Weib.

Lehetséges volna ugyanis e tárgy történelméből is bebizonyítani, és a továbbiakból részben ki is fog derülni, miszerint a legfontosabb gyakorlati siker, nem sejdítve, oly vizsgálatokból merült fel, melyek az avatatlan előtt haszontalan pepecseléseknek tetszettek, míg a beavatott mind abban, ekkoráig ugyan még rejtelmes, ok és okozat közti viszonyt látott nyilvánulni, melyet azonban egyelőre mégis csak tisztán elméleti érdekből volt képes nyomozni.

I.

Az embernek valamennyi érzékei közül a szemet mindig a képző természeti erő legkedvesebb ajándokának és legcsodálatosabb terményének tekintették. Költők megénekelték, szónokok meglüncpelték, bölcészek a szerves erő teremő képességének mértékeként dicsőítették, a természetbuvárok pedig igyekeztek azt, mint az optikai készülékek felülmúlhatatlan mintaképét, utánozni. Valóban meg is fogható e szervnek lelkesült megesudálása, midőn annak szolgálatára gondolunk; irt átható erejére, a sebességre, melylyel színragyogó képeinek bőségét változtatja, és a szemlélődés gazdagságára, melyhez minket elvezet. A megmérhetetlen mindenséget s annak számtalan tündöklő világát csak a szem által ismerjük meg, csak a szem teszi nekünk megközelíthetővé a földi tájkép távolait fényárnyalatainak páraszerű fokoza-

taival, valamint a növények alak- és színgazdagságát, az állatoknak kecses vagy erőteljes életmozgalmát.

Az élet elvesztése után legsajtóbbnak tekintjük a szemvilágnak elvesztését.

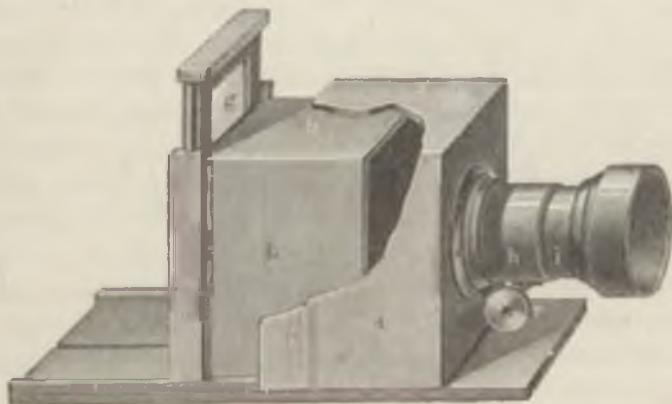
Azonban a szem által megismert, szépség feletti örömnél és a magasztosság feletti csodálatnál fontosabbnak tartjuk még is azon biztosságot és pontosságot, melylyel mi a minket környező tárgyak helyzetét, távolságát, nagyságát a látás által megítéljük. Mert ez ismeret valamennyi cselekményeinknek lényegesen szükséges alapja, akár akarjunk tít vezetni összekészált szövődékén keresztül, akár szikláról sziklára szökdelni, midőn a távolságnak, melyre ugranunk kell, helyes kimérésétől talán életünk függ. Úgyszintén mozgásaink és cselekményeink sikere által, melyek lényegileg épen a külvilágnak a látás útján szerzett szemléleti képmásain (Anschauungsbilder) alapulnak, vizsgáljuk meg folytonosan magoknak a szemléleteknek helyességét és pontosságát. Ha minket a látás a szemlélt tárgyak helyzete és távolsága iránt megesalna, úgy az azonnal ki fogna tűnni, mihelyt a téves helyen szemlélt tárgyat megragadni vagy feléje közeledni törekednénk. Epen a látérzéki képek pontosságának e szakadatlan bírálata cselekményeink által, szerzi meg nekünk amazoknak közvetlen és tökéletes valósága és hitele felől szikla-szilárd meggyőződésünket, oly meggyőződést, melyet meg nem ingat a böleselem vagy az élettannak bár mely alaposnak látszó ellenvetése sem.

Csodálkozhatunk-e még, ha szemközt e tapasztalattal, azon nézet rögződött meg, miszerint a szem oly tökéletességű optikai műszer, melylyel semmiféle emberi kézből eredett eszköz soha fel nem érhet? ha szerkezetének pontosságából és bonyolult voltából hitték magyarázhatni az általa teljesíthető szolgálatnak pontosságát és sokféleségét? Azonban a szem optikai szolgálatának valóságos megvizsgálása, minő az utolsó évtizedek alatt véghez vitetett, e

tekintetben sajátyszerű kiábrándulásra vezetett, olyanra, a minőben a tények bírálata már több más lelkesült csodáhitet is részesített. De valamint más oly esetekben, hol valóban nagyszerű műveletek nem hiányzanak, a valódi csodálat még inkább növekszik, midőn az értelmesebbé válik, és czélját helyesebben felismeri, úgy járunk talán ez esetben is. Mert valóban a kis szervnek nagyszerű szolgálatát soha sem lehet eltagadni, s a mit netalán egyfelől kénytelenek leszünk csodálatunkból levonni, azt más helyen ismét vissza kellend pótolnunk.

De akár hogy legyen is, a szervesen képző természeti erőnek minden műve még is utánozhatatlan marad, s ha itten amaz erő egy optikai eszközt alkotott, úgy az természetesen semmivel se kisebb csoda, mint műveinek bár mely másika, még ha kitűnnék is, hogy emberi művészet képes oly optikai eszközöket előállítani, melyek, mint olyanok, a tökélynek jóval magasabb fokát érték el, mint a szem.

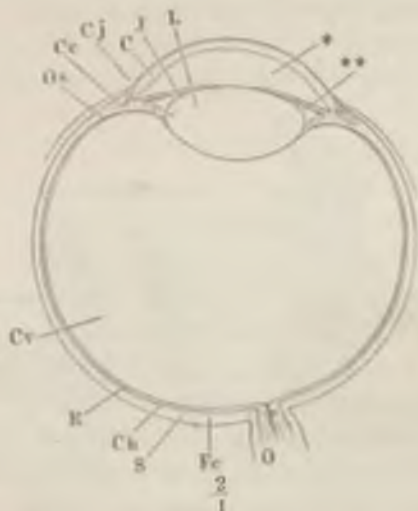
A szem, mint optikai eszközt tekintve azt, sötét kamarát képez. Mindenki ismeri jelenleg a készülékek e nemét,



1-ső ábra.

minőt a fényképészek használnak arcképek vagy tájképek felvételénél.

Ily készüléket tüntet fel az 1-ső ábra. A belsejében kifejektitett, két egymásba tolható *a* és *b* részből összeállított szekrény, a mellő oldalán lévő *h i* csőben üveg-leneséket tartalmaz, melyek a beeső fényt megtörik és azt a műszer előtt álló tárgyak optikai képében a szekrény háttérében egyesítik. Legelőször is midőn a fényképész műszerét beigazítja és beállítja, az optikai képet a homályos *g* üveglapon fogja fel. Ezen lesz az, mint igen finoman és tisztán, természetes színezettel rajzolt kép, láthatóvá, élesebben és élésebben mintsem azt a legügyesebb művész képes volna utánozni; csak hogy az megfordítva mutatkozik. Ezután a kép felfogására amaz üveglap helyébe az előkészített fényérzékeny lemez tolatik be, melyen a kép megmaradó vegyi változásokat hoz létre, erősebben a jobban megvilágított helyeken, gyengébben a sötétebbeken. Mihelyt



2-ik ábra.

egyszer *e* vegyi változások beállottak, továbbra is megmaradnak; a kép általuk a lemezen megrögzítettetik.

Szemünk sötét kamarája, melynek mintaszerű átmet-
 szetét a 2-ik ábra mutatja, szintén el van látva belül kifeketi-
 tett szekrényével, habár az nem szögletes, hanem gömbidomú;
 és nem is fából készült, hanem a feszes, vastag fehér *S* in-
 hártya által képeztetik, melynek mellső része a szem fehére-
 ként a szemhéjak közt látható. A szemtekének ezen külső
 szilárd burka belsejében fekete, minthogy az a finom, majd-
 nem egészen egymásba fonódott veres véredényektől képe-
 zett és fekete festenynyel sűrűn befedett *Ch* edényhártya
 által takartatik. Eltérés van még abban, hogy a szemteke
 nem üres, hanem átlátszó viztisza folyadékkal telt. A sötét
 kamara üveg-lencséje helyében találjuk mellül a szemben az
 átlátszó porczanyagból képezett, gömbszerűen elődomborult
C porczhártyát a fehér inhártyába beillesztve. Helyzete
 és görbülete változatlan, minthogy szintén a szemteke szilárd
 külső falzatához tartozik. A fényképész üveglencséi ellenben
 nincsenek változhatlanul rögzítve; hanem betolható csőbe
 vannak beillesztve, melyet a fényképész (r. 1. ábra) csavar
 által megmozdít, hogy azt a leábrázolandó tárgynak távolsá-
 gához alkalmazva, ennek tiszta képmását kaphassa. Mentül
 közelebb áll a tárgy, annál inkább kifelé kell a lencsét tolni,
 mentül távolabb áll az, annál inkább tolja emezt vissza. Ámde
 megvan a szemnek is azon feladata, hogy hátsó falán majd
 távolabb, majd közelebb tárgyakat ábrázoljon le. E célra
 a szemnek optikai készüléke is egy megváltoztatható részt
 szükséges. Ez pedig (L. 2. ábra) a jég-lencse, mely bent
 közel a porczhártya megett fekszik, azonban majdnem teljesen
 a barna vagy kék *J* szivárvány hártya által eltakarva.
 Ott hol ennek közepén a kerek nyílás, a láta van, a jég-
 lencse közvetlenül a láta szélei mellett szabadon fekszik;
 azonban oly átlátszó az, hogy közönséges világításnál
 abból misem látható, hanem csak a szemteke sötét hátté-
 rének tulajdon fekete színe mutatkozik, sajátos fekete
 színezetében. A jég-lencse puha, rugalmas, lencseidomú, fe-
 lette átlátszó test, mellső és hátsó domború felülettel. Gyűrű

alakban körülfogva a fodros gallérként sugárszerű redőkbe szedett rögzítő szalag — sugár lemezke — Zonula Zinnii — (**-nél a 2. ábrán) — által, köröskörül meg van rögzítve, mely szalagnak feszülése kisebbsíthető a belül a szemben lévő, a porzhártya széle folytában kezdődő izom — Cc sugárizom — által. Ekkor a lenese két lapja — jelesen a mellső, jobban kidomborodik, mint volt a szem nyugvó állapotakor, a fénysugarak törése a lencsében erősebb lesz, és a szem ez által képessé válik, közelebb fekvő tárgyak képeit hátterének lapjára vetni.

A nyugvó, rendesen látó szem a távol fekvő tárgyakat látja tisztán; a sugárizom megfeszítése által pedig közel eső tárgyakra lesz beállítva (alkalmazva, accommodálva). — Az alkalmazkodásnak éppen most röviden kifejtett gépezete, Kepler ideje óta, egyike volt a szemészet legnagyobb rejtélyeinek, egyszersmind az alkalmazkodásnak gyakori tökéletlen volta miatt felette nagy gyakorlati fontosságú kérdés is. Soha az optikának semmiféle más tárgya felett nem lett annyiféle ellenmondó elmélet felállítva, mint éppen e felett. A rejtélynek megoldása előkészítve lön, midőn Sanson angol szemész magának, mint rendkívül figyelmes észlelő érdemet szerezve, a lenese két oldalán létrejövő igen gyenge fény-visszaverődést a látán belül felismeré. Egyike volt ez a legkevésbé feltűnő tünetményeknek; látható lévén egyedül csak erős oldalvilágításnál, különben teljesen sötét űrben, a vizsgálónak csakis egy bizonyos állásánál s ekkor is csak gyenge ködszerű fényként. De e gyenge fény hivatva volt a tudomány egyik sötét területére nagy fényt árasztani; az első élő szemén érzékileg felfogható jel lévén az, mely a jéglenesétől indult ki. Ezen visszaverődési képeket Sanson azonnal felhasználá annak tárgyilagos meghatározására, valjon valamely beteg szemben a jéglenese helyén áll-e. Max Langenbeek vevé legelőször észre ezen visszaverődés változásait alkalmazkodáskor. Ezeket használta fel Cramer Utrechtben és ettől

függetlenül előadó is mindazon változások megállapítására, melyeket a jéglenese alkalmazkodáskor elszenved. Sikerült nekem a mozgékony szemnél is megváltozott alakban alkalmazni a heliometernek alapelvét, melynek segítségével a csillagászok képesek az örökké mozgékony égboltozaton igen csekély csillag-távolsokat, látszólagos mozgásaik daczára oly pontosan megmérni, hogy ez által az álló csillagok egészen mélységén áthatolhattak. A célomnak megfelelőleg szerkesztett eszköz — az *ophthalmometer* — lehetségessé teszi élő szemem a porczhártyának, valamint a lencse két felületének görbületét, e felületeknek egymástóli távolságát stb. nagyobb pontossággal megmérni, mint sem az eddig még a hullaszemen is lehetséges volt, s ez által az optikai készülékbeli változásoknak teljes kiterjedését is, a menüyiben azok az alkalmazkodásra befolyással bírnak, meghatározni.

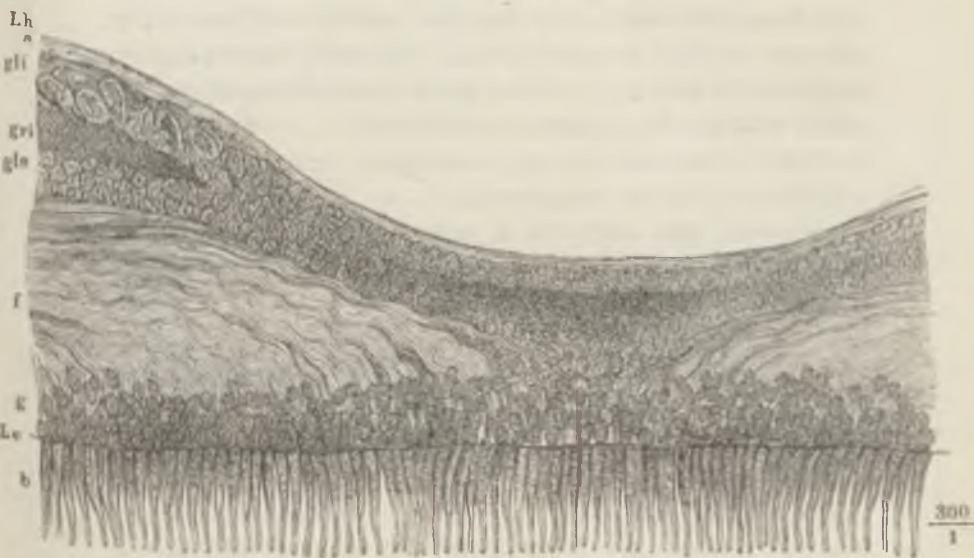
Ekképen a feladat élettanilag meg volt oldva. Ehhez csatlakoztak tovább még a szemészeknek vizsgálatai, jelesen Donders-é az alkalmazkodásnak egyéni hibáira nézve, melyeket a közönséges életben a rövidlátás és a messzelátás neve alatt szokás összefoglalni. Szükséges volt biztos módszereket megállapítani, melyek által be nem gyakorlott és be nem avatott betegeken az alkalmazkodási képesség határait pontosan lehessen meghatározni. Kiderült, hogy a rövidlátás és messzelátás neve alatt igen különböző állapotok voltak összehalmozva, melyek miatt mindaddig a megfelelő szemüvegeknek megválasztása sem volt biztos; hogy igen makacs és homályos, látszólag ideges bajok egyszerűen bizonyos alkalmazkodási hibáktól erednek és helyesen választott szemüveg által gyorsan elháríthatók. Továbbá még kimutató Donders, miszerint az alkalmazkodási hibák a kancsalságnak legközönségesebb alkalmi okai; míg A. v. Graefe már előbb kimutató, hogy elhanyagolt s lassan fokozódó rövidlátás a szem-háttér legveszélyesebb feszüléseit, megbetegedéseit és elváltozásait vonja maga után.

Így fejlődtek ki minden irányban az okozatos összefüggés legváratlanabb kapcsolatai és váltak egyaránt gyümölcsözőkké a betegre, mint érdekessé az életbuvárra nézve.

Hátra van most még, hogy az ernyőről szóljunk, mely a szemben létrejött képet felfogja. Az a látidegnek vékony hártyszerű területke, — a *reczeg*, mely a szemtekét takaró hárták legbelsőbbik rétegét képezi. A látideg — 2-ik ábra *O* — hengerszerű fonál, mely egybefoglalt és erős intoktól védett, felette vékony idegrostokat juttat a szemtekéhez, melynek hátsó falán, kevésé orri oldala felé esve, betér. A látidegnek rostai ezután betérési helyüktől, a *reczeg* mellső felületén minden irányban szétsugárzanak. Ott hol végződnek, sajátlagos végképletekkel állnak összefüggésben, legelőbb is sejtekkel és magvakkal, mint a minők az agyvelő szürke ideg-állományában is előfordulnak; de végre is az idegbeli vezetésnek végpontjait képezve, található a *reczeg* hátsó oldalán a szabályosan kifejtett rakmüszzerű réteg, a finomabb *hengerded pálczikák* ből és kevésé vastagabb *palaczkidomú képletek* ből — a *reczeg csapjai* ből — 3-ik ábra *b* — összeállítva, melyek tömötten egymáshoz szorítva, a *reczeg* lapjára merőlegesen irányítva, valamennyien egy-egy idegrosttal — a *pálczikák* a legfinomabb rostokkal, a *csapok* a valamivel vastagabbakkal — összefüggnek. Miként kísérletileg kimutatható, a *pálczikák*- és *csapok*nak e mozaikja képezi tulajdonképen a *reczegnek* fényérző rétegét; azaz azt, melyben egyedül képes a fény behatása ideg-ingerületet keltetni.

Van egy különös hely a *reczegen*, ennek nem épen közép, hanem kevésé halántéki felére eső táján, mely színe után *sárga folt* nak neveztetik. E hely kevésé megvastagodott. De közepén kis gödör — *reczeg gödör* van, hol a hártya felettébb vékony, minthogy állománya itt csak azon elemekre szoritkozik, melyek a tiszta látáshoz feltétlenül szükségesek. E helynek átmetszetét tünteti fel a 3-ik ábra, Henle szerint borszeszben keményített készítmény után

300-szoros nagyításban. *Lh* a rugalmas hártya, mely a reczeget az üvegtest felé határolja, *b*-nél ellenben a csapok láthatók, melyek itt finomabbak ($\frac{1}{400}$ milliméternyi



3-ik ábra.

átmérővel) mint a reczeg többi részeiben és sűrű szabályos rakművet képeznek. A csapokhoz tartozó *g* szemeséknék kivételével a reczegnek többi, kisebb-nagyobb fokban homályos elemei oldalra vannak eltolva. *f*-nél a rostkötegek láthatók, melyek *e* szemeséknék összeköttetésére a többi kevésbé előbbre eső ideges képletekkel szolgálnak. Ez utóbbiak közül *n*-nél a látideg rostainak rétege, *g**li* és *g**le*-nél két idegsejtréteg, köztük pedig *g**ri*-nél a finoman szemesézett réteg látható. A reczeggödör közepén minden utóbbi réteg át van fűrva, és csak végső megvékonyult nyúlványaik látszanak az ábrán. A reczegnek véredényei sem térnek a reczeggödörbe be, hanem ennek közvetlen kerületén a legfinomabb hajszálkacsok finom koszorújában végződnek.

A reczeggödör nagy fontossággal bír a látásnál, mint-hogy a legfinomabb térbeli megkülönböztetésnek helye. A csapok, mint a végső fényérző elemek, itten vannak legtöbbször összeszorítva és minden előbbre eső, csak félig átlátszó részekről megszabadítva. Feltelhetjük, hogy e csapok mindenikétől egy-egy idegrost halad a látidegtörzsön át elszigetelten az agyig, hogy a nyert benyomást oda elvezesse és hogy tehát minden egyes csapnak ingerületi állapota a többiekétől külön megérezhető.

Tudva van, miszerint a sötét kamarában az optikai kép akképen támad, hogy a világító pontból — a tárgypontból — kiindult fénysugarak, az üveglencse által úgy töretnek meg és előbbi irányuktól úgy térítettnek el, hogy azok valamennyien a lencse mögött egy pontban — e képpontban — egyesülnek. Tudvalevőleg ugyanazt eszközl minden gyűlenese is. Ha ilyenén át napsugarakat vezetünk, és mögötte fehér papírt tartunk megfelelő távolságban, kétféle észlelhetünk. Először t. i. azt, — a mi rendesen a figyelmet kikerüli, — hogy a gyűlenese úgy mint valamely átlátszatlan test, árnyékot vet, jóllehet átlátszó üvegből áll, és másodszor hogy ezen árnyék közepén vakító fényben megvilágított hely támad, a nap kis képe. Azon fény, mely a lencse jelen nem létében, az egész felületet, melyre az árnyék esik, fogta volna megvilágítani, az üvegben szenvedett törés folytán, a napképnek megvilágított kis helyén gyűjtetik össze, minek folytán itt a fény és meleg sokkal erősebb mint a napnak meg nem tört sugaraiban. Ha a napkorong helyébe pontszerű fényforrást alkalmazunk, például a Sziáust, akkor a fény a lencse gyűtávolában egy pontban fog össze gyűjtetni. Itt világítja meg a papírernyőt, melynek megvilágított pontja a csillagnak képeként tűnik fel. Ha még más állócsillag van közelében, ennek fénye a papírernyő egy másik pontján gyűjtetik össze, melyet megvilágít és megfelelőleg e másik pont tűnik fel a második csillagnak képeként. Ha netalán ez utóbbinak fénye vörös, akkor természetesen az

általa megvilágított pont is vörös. Ha több csillag van egymáshoz közel, úgy meg lesz a papírnak más-más helyén mindeniknek saját képe, és mindenik képnek meg lesz azon fénynek színe, melyet a csillag kibocsát. Ha végre a csillagok módjára külön választott világító pontok helyett, egy világító vonalnak vagy felületnek világító folytonos pontsorát veszszük, úgy ezeknek is a megfelelőleg megvilágított képpontoknak folytonos sora fog a papíron megfelelni, de feltéve, hogy a papírerő helyesen van beállítva, itt is minden fény, mi az egyes tárgypontból kiindult, az ernyőnek csak egyetlen pontján fog összpontosíttatni, és azon fényerőben és színben fogja azt megvilágítani, mely saját tulajdona, míg a papírnak ugyanazon pontja a tárgynak semmiféle más pontjából fényt nem fog kapni.

Ha az eddig felvett papírerő helyébe fényképészileg előkészített lemezet állítunk, úgy ennek valamennyi pontja a rája eső fény folytán meg fog változni. De e fény mind azon fény, és csak azon fény, mely a felelkező tárgyponttól a műszerbe bejutott, és fokozatában megfelel az illető tárgypont fényfokának. Így tehát megfelel a fényérző lemez minden pontján az elszenvedett változásnak foka azon fény vegyhatása fokának, melyet az illető tárgypont kibocsátott.

Teljesen ugyanaz történik a szemben is; csak hogy az üveglencsék helyébe a porczhártya és a jéglenese, a papírerő vagy a fényképészi lemez helyébe a reezeg lép. Ha tehát a reezegen az optikai kép pontosan létrejött, úgy a reezegnek minden egyes csapjára csak azon fény fog esni, melyet a láttérnek felelkező kis területi eleme kibocsát; a csaphól kiinduló idegrost is tehát csak ezen felelkező területi elemnek fénye által fog ingerületbe tétetni és csak ezt érzi meg, míg a láttér szomszéd pontjainak fénye által más idegrostok fognak ingereltetni. E viszonyt a 4-ik ábra világítja meg. Az *A* tárgypontból kiinduló sugarak akképen töretnék meg, hogy valamennyien a reezegnek *a* pontjában egyesülnek, míg a *B* tárgyponttól kiindulók *b* pontba gyűlnek össze.

Így történik tehát, hogy a láttér minden egyes világító pontjának fénye elkülönítve magában különleges érzést kelt, hogy a láttér különböző pontjainak egyenlő vagy különböző



4-ik ábra.

fényfoka az érzésben is elkülönítve és egymástól külön választva maradhat, és hogy mindezen különböző benyomások elkülönítve juthatnak az öntudathoz.

Midőn így a szemet mesterséges optikai műszerekkel összehasonlítjuk, legelőbb is a szemre nézve előnyként tűnik fel nekünk ennek igen tágas láttére, mely minden egyes szemnél jobbról balra majdnem két derékszögre (jobbról balra 160° , felülről lefelé 120°) sőt mindkettőnél összesen vizirányos kiterjedésben még valamivel többre mint két derékszögre terjed. Mesterséges műszereink láttére többnyire csak igen csekély, annál kisebb, mentül nagyobb a képnek nagyítása. Másfelől azonban meg kell jegyeznünk, hogy mesterséges műszereinknél követeljük, miszerint a kép egész kiterjedésében tökéletesen éles legyen; míg ellenben elégséges, ha a reczegi kép csak igen csekély kiterjedésben, t. i. a sárga foltnak kiterjedésében nagy élességgel bír. A reczegődör átmérőjének megfelel a láttérben körülbelül egy szögfok, azaz oly kiterjedés, mely mutatóujjunk körme által elfedve látszik, ha kezünket magunktól lehetőleg messzire eltávolítjuk. A láttérnek e kis szakaszában oly nagy a látás pontossága, hogy két pont közt egy szögpercnyi távolságot is, mely a mondott helyzetben tartott mutatóujjunk körme szélességének $\frac{1}{60}$ részével ér fel, még

képesek vagyunk megkülönböztetni. E távolság megfelel egy reczegesap szélességének. A reczegi képnek minden többi része annál kevésbé élesen látszik, mentül inkább közelebb esik a reczeg széléhez. E szerint a látérzéki kép, melyet fél szemmel nyerünk, oly rajzhoz hasonló, melyben a középső rész igen finoman és tisztán van kidolgozva, környezete ellenben csak felületesen körvonalozott. Mindazáltal bárha minden egyes pillanatban a láttérnek csak felette kis részét látjuk is élesen, látjuk azt még is egyidejűleg összefüggésben környezetével, és látunk ez utóbbiból annyit, mennyi elégséges, hogy minden feltűnő tárgyra, nevezetesen minden változásra e környezetben, azonnal figyelmesekké tétessünk; mind ez a távesőnél elő nem fordul. Ha pedig a tárgyak igen kicsinyek, akkor azokat a reczeg oldalrészeivel egyáltalában fel nem ismerjük.

„Ha fent a kék ürben eltűnve, a pacsirta zengi örömenekét“*), akkor az nekünk mindakkoráig el is tűnt, míg nem sikerül képét a reczeggödörre juttatni. Csak akkor pillantjuk meg azt, akkor vesszük azt észre.

Valamely tárgyra tekinteni annyit tesz, mint szemünket úgy irányítani, hogy ama tárgy képe az éles látás helyére essék. Ezt nevezzük egyenes látásnak, ellenben oldalagosnak azt, midőn a reczeg oldalrészeivel nézünk.

Szemünk mozgékonyága folytán, mely nekünk megengedi a láttérnek minden egyes helyére, mely minket épen érdekel, gyorsan egymásután nézni, dűsan kiegyenlítettnek azon hiányok, melyek a kép élességének tökéletlen voltából és a felfogó reczegelemeknek csekély számából a láttér nagyobb részében keletkeznek, és épen e nagy mozgékonyágon alapszik a legnagyobb előny, melylyel a szem a hasonló nemű nehézkes mesterséges műszereink felett bír. Sőt azon sajátság mellett, melylyel figyelmünk működni

* Wenn hoch im blauen Raum verloren
Ihr jubelnd Lied die Lerche singt,

szokott, hogy t. i. minden egyes pillanatban csak egy képzé-
lellettel (Vorstellung) vagy szemlélettel (Anschauung) bir
foglalkozni, s a mint azt felfogta, azonnal másikra átsiet, sze-
münk meglevő szerkezete egyébként rendes viszonyok közt épen
annyit nyújt, mennyi szükséges, és minden részletében töké-
letesen éles, más látképpel gyakorlatilag oly tökéletesen
egyenlő értékű, hogy az oldalagos látásnak tökéletlenségeit
nem is szoktuk előbb megismerni, mielőtt figyelmünket szán-
dékosan azokra nem fordítjuk. Azt, mi minket érdekel, meg-
nézzük és élesen látjuk; mit mi élesen nem látunk, az ren-
desen azon pillanatban minket nem is érdekel, s arra nem
figyelve, észre sem vesszük, hogy képe nem éles.

Sőt ellenkezőleg nehezen esik nekünk, és hosszú be-
gyakorlást igényel, hogy esetleg valamely élettani kérdés
végett figyelmünket oldalagos irányban látott tárgyra fordítsuk,
a nélkül, hogy egyidejűleg szemünket feléje ne irányítsuk,
és azt meg ne nézzük. Annyira van szakadatlan megszokás
folytán figyelmünk a nézponthoz és a nézés iránya figyel-
münk tárgyához bilineselve. S épen oly nehéz is másfelől több
perc tartama alatt mereven nézni egy pontra, mint az pl.
szükséges, midőn jól határolt utóképet akarunk nyerni, a mi
szintén különös begyakorlást igényel.

E viszonyon alapszik kétségen kívül azon jelentőségnek
nagy része is, melylyel a szem, mint a szellemi kifejezés eszköze
bir. A pillantás irányulata a figyelem irányulata legközvetlenebb
jeleinek egyike, s így a képzeleteknek is a nézőnek szelle-
mében. Épen oly gyorsan, mint pillantásunk iránya felfelé,
lefelé, jobbra, balra változik, változik az alkalmazkodás is,
minek folytán szemünk optikai készüléke gyorsan válto-
gatva majd távol, majd közel álló tárgyakhoz alkalmazkodni
képes, hogy minden esetben azon tárgynak éles képét állit-
hassa elő, mely épen figyelmünket lekötötte. Az irányulatnak,
valamint az alkalmazkodásnak mindezen változásai véghet-
lenül nehézkesebben történnek mesterséges műszereinknél.
A fénykép sohasem mutathat fel egyidejűleg egyenlő tisztán

távol és közel álló tárgyat, a szem szintén nem; de ez utóbbi képes azt tenni egymásután oly gyors felváltással, hogy a legtöbb ember, ki látása felett nem gondolkodott, a változásról mit sem szokott tudni.

Vizsgáljuk azonban tovább optikai készülékünket. Tekintsünk el az alkalmazkodási köznek már említett egyéni hiányaitól, a rövidlátástól és a messzelátástól. Oly hibák ezek, melyek részben, úgy látszik, mesterkélt életmódunkkal függnek össze, részben az előbbre haladt kornak tulajdonai. Idősebb egyének ugyanis elvesztik alkalmazkodási képességüket, és csak egy bizonyos, majd kisebb, majd nagyobb távolságra vannak korlátozva, melyben még tisztán látnak; más távolságoknál, közelebb vagy távolabbaknál szemüvegek segítségére szorulnak.

De egy másik lényeges kellék, melyet mesterséges műszereinknél megkívánunk, az, hogy azok a szín-szétszóródástól mentesek, hogy színtelenek (achromatikusok) legyenek. Az optikai műszerek fény szétszóródása onnan származik, hogy a napfénynek egyes különböző színű sugarai, az előttünk ismeretes átlátszó anyagokban nem egyenlő nagy törést szenvednek. E miatt különbözik az e különböző színű sugarak által létrehozott optikai képeknek nagysága és helyzete; azok nem fedik el egymást a néző látterében teljesen, s a mint majd a vörös, majd a kék sugaraknak képei nagyobbak, a szerint mutatkoznak fehér felületek majd kékesibolya, majd sárgászörös szegélylyel, minek folytán a körvonalak tisztasága is szenved.

Sok olvasóm előtt ismeretes lesz, hogy minő szerepet játszott a színtelen (achromatikus) távesővek feltalálásánál a szembe fordított fény szétszóródás iránti kérdés, nevezetesen példáját adván annak, hogy két hamis felvételtől lehetséges némelykor helyes következtetést levezetni. Newton azt hívé, hogy a különböző átlátszó anyagoknak törési és fény szétszóródási képessége közt oly viszonyt fedezett fel, mely miatt színtelen fénytörő műszerek nem fognának létezhetni.

Euler ellenben azon körülményből, hogy a szem achromatikus, azt következtetvé, miszerint azon viszony, melyet Newton a különféle átlátszó anyagoknak törési és fényszétszóródási képessége között felvett, nem való. Megállapítá erre a színtelen műszerek szerkesztésére szolgáló elméleti szabályokat, miket Dollond gyakorlatilag valósított. Azonban már Dollond vevé észre, miszerint lehetetlen, hogy a szem achromatikus legyen, miután alkata az Euler által felállított kellékeknek nem felel meg; míg végre Fraunhofer a fényszétszóródásnak nagyságát mérés által meghatározá. Oly szem, mely vörös fényhez végtelen távolra van beállítva, a kék irányában nem bír 2 lábnál nagyobb láttávval. Fehér fényben a fényszétszóródás csak azért nem tűnik fel, mert a színeknek említett legszélsőbb sugarai egyszersmind a legfénygyengébbek és az általuk előidézett képek a fénydúsabb középső sárga, zöld és kék színek mellett nem nagy nyomatékkal bírnak. De igen feltűnő lesz a tűnemény, ha ibolya színű üveg által a színek legszélsőbb sugarait elkülönítjük. Kobaltéleg által festett ilyféle üvegek a vörös és kék sugarakat átbocsátják, ellenben a sárga és zöld, tehát a színek középső és legvilágosabb színeit visszatartják. Azon olvasóimnak, kiknek szemei rendes láttávval bírnak, az ilyféle ibolya színű üveggel ellátott utczalámpáknak lángja — estve távolból tekintve — vörösen, kékes ibolya fénykődben fog mutatkozni, mely utóbbi a lángnak kék és ibolya fénye által okozott szóródási képe. Ezen mindennapi törvény a legegyszerűbb és teljesen elégséges alkalmat szolgáltat annak bebizonyítására, miszerint a szemben fényszétszóródás van jelen.

Hogy pedig a szemben a fényszétszóródás közönséges körülmények közt annyira kevéssé feltűnő, és tetteleg valamivel kisebb is mint sem ugyanazon optikai képességű üveges műszernél lenni fogna, abban találja okát, mert a szemnek fő törő közege víz, mely kisebb fényszétszóródást okoz mint az üveg. Mindazáltal a szemnek fényszétszóródása mégis

valamivel nagyobb, mint sem egyedül csak víztől képezett készüléknél egyébként hasonló körülmények közt lenni fogna. Így lehetséges, hogy jöllehet a szemnek fényszétszóródása fennáll, az a látást közönséges fehér megvilágításnál felülően még sem zavarja.

A második hiba, mely erősen nagyító optikai műszereknél nagy nyomatékkal bír, az a törőfelületeknek úgynevezett gömbalakja miatti eltérése. Törő gömbfelületek ugyanis az egy tárgypontból kiindult sugarakat csak akkor egyesítik közel egy képpontban, hogy ha minden sugár majdnem függőlegesen esik minden egyes törő felületre. Arra, hogy a sugarak legalább a kép közepén teljes pontossággal egyesüljenek, szükséges volna másként mint gömbszerűen görbitett felületeket alkalmazni, melyek kellő tökélyben erőművileg elő nem állíthatók. A szem bír is részben kerület-szerűen görbitett felületekkel, és a szervnek alkata iránt táplált kedvező előítélet ismét azon felfetésre adott alkalmat, hogy nála a gömbalak miatti eltérés ki van zárva. Azonban a szerv iránti természetes kedvezés czélján leginkább itt hajtott túl. Pontosabb vizsgálat ugyanis megmutatá, hogy a szemnél a gömbalak miatti eltérésnél még sokkal durvább eltérések fordulnak elő, oly eltérések, minők mesterséges műszereknél kevés gondnal könnyen kikerülhetők, s melyek mellett a kérdés teljesen nyomatéktalan, vajon még gömbalak miatti eltérés jelen van-e vagy nincs. A mérések, miket legelőször *Senff* Dorpatban, később előadó alkalmasabb műszerrel, a már említett ophthalmometerrel, utána pedig számosan, *Donders*, *Knapp* és mások a porczhártya görbületére vonatkozólag végbe vittek, kimutatták, hogy a legtöbb emberi szem porczhártyájának görbülete nem kerek, hanem az egyes dél-körök szerint különböző. Tovább még módszert is ajánlottam fel az élő szem központosultságának megbirálására, azaz annak meghatározására, vajon a porczhártya és a jéglenese azonos tengely szerint oldalarányosan

van-e alkotva. E módszernek alkalmazása kimutató a megvizsgált szemeknél a központosultságnak kiesiny, de tisztán felismerhető hiányait. E kétrendbeli eltérésnek következménye a szemnek úgynevezett *astigmatismus*a, mely a legtöbb emberi szemnél kisebb nagyobb fokban felfelalható, s mely eszközli, hogy nem vagyunk képesek egyidejűleg fekkmentes és merőleges vonalakat ugyanazon távolságból tökéletesen tisztán meglátni. Ha az astigmatismus foka jelentékenyebb, akkor lehetséges a tőle származó zavart hengerded felületekkel ellátott szemüvegek által elhárítani. Oly tárgy ez, mely legújabb időben nagy fokban vonta magára a szemészeknek figyelmét.

Mind ezzel azonban a dolog még nincs befejezve. A nem kerek kerületes törő felület, a roszul központosított táveső nem fogják ugyan a csillagnak pontszerű képeit előállíthatni, hanem beállítások szerint kerületeseket, köröseket vagy vonalszerűeket. A fénypontnak képei azonban, miként a szem azokat létrehozza, még szabálytalanabbak, azok ugyanis szabálytalanul kisugárzók. Ennek oka a jég-

lenesében fekszik, melynek rosthuzamai hatsugaras rendeződést mutatnak fel, úgy mint azt a lenese oldalrésze az 5-ik ábrán feltünteti. S valóban azon sugarak, miket mi a csillagokon vagy távol álló lángokon látunk, az emberi lenese sugaras alakjának képmásai; és hogy mennyire közönséges e hiba, kitűnik abból, hogy a sugaras alakot közönségesen csillagszerűnek szoktuk mondani. Hogy a holdsarló,



5-ik ábra.

ha elég keskeny, sok embernek kettősen vagy hármasan mutatkozik, szintén innen ered.

Semmikép sem fogna pedig túlzás lenni, ha magamat feljogosítva érezném, oly látműszerész irányában, ki az említett hibákban szenvedő műszert nekem el akarna adni, munkájának pongyolasága felett a legkeményebb kifakadásokra kelni, és óvástétel mellett műszerét neki vissza adni. Saját szemeimre nézve ugyan nem fogom ezt tenni, hanem ellenkezőleg örülni, ha azokat hibáik mellett is mentül továbbra megtarthatom. De azon körülmény, hogy azok hibáik daczára nekem kipótolhatatlanok, e hibák nagyságát még semmivel sem kisebbiti, mihelyt magunkat az optikai buvár bár egyoldalú, de jogosult álláspontjára helyezzük.

Azonban a szemre vonatkozó bűnrovásunknak még nincsen vége.

A látműszerésztől megköveteljük, hogy lencséit jó, tiszta, tökéletesen átlátszó üvegből készítse. Ha az üveg homályos, úgy ily műszernél a képnek minden világos helyét fekete kör fogja körül; a fekete szürkének látszik, a fehér pedig nem olyan világos, milyennek lenni kellene. De épen ezen hibák vannak meg a képben is, melyet a szem a külvilágról nekünk mutat; igen világos tárgy közelében látott sötét tárgynak homályossága lényegesen ezen körülményből ered, és ha az élő szemnek porczhártyáját és jég-lencséjét erősen megvilágítjuk az által, hogy jól világító lámpának fényét lencse segítségével azokra összpontosítjuk, állományukat is homályos fehéren látjuk, homályosabban mint a köztük fekvő vizenyős folyadékot. E homályosság legfeltűnőbb a színeknek kék és ibolyás fényénél; mert ekkor még hozzájárul az úgynevezett fluorescentia, mely a homályt növeli. A fluorescentia neve alatt t. i. bizonyos testeknek azon képességét értjük, melynél fogva azok egy időre gyengén önvilágítók lesznek, mialatt rájuk ibolya és kékfény hat be. A chinin-oldatoknak kékes, valamint az uran-üvegnek sárga-zöldes fénye szintén innen ered.

S valóban úgy látszik, hogy a porczhártyának és a lencsének fluorescentiája is a chininhez hasonló anyagnak

bennünk levő kis mennyiségétől származik. De a jéglenesének ezen tulajdonsága az életbuvárra nézve igen becses, mert lehetséges erősen összpontosított kék fény által élő szemben is a lencsét láthatóvá tenni és bebizonyítani, miszerint az közvetlenül a szivárvány-hártya megett és szorosan ehhez illesztődve fekszik, mi felett sokáig téves nézetek uralkodtak. A látásra nézve azonban a porezhártyának és jéglenesének folanyossága mindenesetre csak káros.

A jéglenese egyáltalában bármily szépnek és tisztának látszik is, midőn azt hevenyén leölt állatnak szeméből kivesszük, optikailag tekintve még sem egynemű. Lehetséges a szemben levő homályosságoknak és sötét testecseknek, az úgynevezett entoptikai tárgyaknak árnyékait a reczegen láthatóvá tenni, ha igen finom nyíláson át kiterjedt világos felületre, például a világos égre tekintünk. Ezen árnyképekhez legnagyobb adalékkal járulnak mindig a jéglenesének rosthuzamai és foltjai. E mellett még különféle, az üvegtestben úszkáló rostocskok, szemesék, hártyaredők is látszanak, melyek ha közel a reczeg előtt vannak, a szem közönséges használatakor is mint úgynevezett repülő szünnyogok merülnek fel, azért neveztetvén úgy, mert midőn rájuk nézni törekszünk, azok a szemmel együtt elmozdulnak, tehát mindig a nézpont elől bujdosnak, mi azon benyomást okozza, mintha repülő rovart látnánk. Ilyenek minden szemben léteznek, és többnyire a szemteke legmagasabb pontján, a láttéren kívül úszkálnak, de az üvegtestben szétterjednek, ha ez a szem gyors mozgása által mintegy felrázatik. Esetleg akkor a szemgödör elébe kerülnek és a látást megnehezítik. A módra nézve, mely szerint érzékeink érzéseire figyelünk, jellemző itt még azon körülmény, hogy az ilyféle tárgyak nem ritkán mint teljesen újak tűnnek fel olyanoknak, kik szembajokban kezdenek szenvedni, és nekik aggodalmat okoznak, jóllehet mindazon tárgyak kétségen kívül már a jelenlevő bántalom előtt is üvegtestükben úszkáltak.

Ila ismerjük egyébiránt a szemteke fejlődési folyamatát az emberi és a gerinces állati ébrénynél, úgy mindezen rendellenességek a lencse és az üvegtest alkatában könnyen megmagyarázhatók. Mindkettő ugyanis aképen támad, hogy az ébrénynél a külbőrnek egy része gödörszerűen behúzódva, palaczkyszerű üreggké kitágul, míg végre a palaczk nyaka egészen lefűződik. Ezen lefűzött zacskónak felhámsejtei változnak át a lencse állományává, maga a bőr lencsetokká válik, laza bőralatti kötőszöve pedig az üvegtest kocsonyás tömegévé. A befűződési heg még némely felnőtt szemének entoptikai képében meglátható.

Végre még fel kell emlitenünk bizonyos rendellenességeket a szem fenekén, mely az optikai képet felfogja. Először is a reczegen ott, hol a látideg a szembe betér, nem



6-ik ábra.

messze a láttér közepétől lézag van. E helyen a hártának állománya egyedül a betérő látideg-rostoktól képeztetik, a tulajdonképen fényérző elemek, a csapok pedig hiányzanak. Miért is az e helyre eső fényt nem érezzük. E lézagnak a

csapmozaikban, az úgynevezett vak foltoknak megfelel egy hézag a láttérben is, melynek kiterjedésében mit sem látunk. A 6-ik ábra mutatja a keresztül metszett szem hátsó felének belső alakját. Legelőbb is *R* reczeg tűnik fel faágszerűen elágazódó véredényeivel. Azon pont, melytől azok szétágaznak, a látideg betérése helyének felel meg, mellette balra a reczegnek sárga foltja van kijelölve. E hézag nem is oly jelentéktelen; fekmentes átmérője körülbelül 6 szögfokra, a merőleges 8 fokra terjed; belső széle pedig mintegy 12 foknyira távol esik fekmentes irányban a nézponttól a hátlántéki oldal felé. Sok olvasóm előtt ismeretes lesz az eljárás, melynél e hézag legkönnyebben felismerhető. Ha fehér papíron fekmentes irányban mintegy három hüvelyknyi távolságban egymástól balról kis keresztet, jobbról pedig fél hüvelyknyi átmérőjű fekete kerek foltot rajzolunk fel; ezután bal szemünket behunyva, jobb szemünket szakadatlanul a kis keresztre rögzítve tartjuk, mialatt a papírt lassan nagyobb távolságból szemünkhöz közelítjük; ekkor mintegy tizenegy hüvelyknyi távolságban a fekete folt el fog tűnni, de újból meg fog jelenni, ha a papírt még tovább közelítjük.

E hézag elég nagy arra, hogy benne tizenegy fekmentesen egymás mellé állított hold, vagy 6 egészen 7 lábnyi távolságban álló emberi arcz eltűnhessék. Mariotte, ki e tűneményt felfedezte volt, II. Károly angol királyt és udvari személyzetét azzal mulattatá, hogy őket betanítá fej nélkül látni meg egymást.

Több kisebb részszerű hézag, melyekben kisebb világos pontok, például egyes álló csillagok eltűnhetnek, megfelelnek a reczeg nagyobb véredény törzseinek. A véredények ugyanis ezen hártjának mellsőbb rétegeiben fekszenek s azért árnyékaikat a fényérző mozaiknak mögöttük fekvő részeire vetik. A vastagabb edények a fényt teljesen visszatartják, a vékonyabbak pedig azt legalább is gyengítik. A reczeg véredényeinek ezen árnyékai a láttérben is feltűnhetnek, például midőn kártya lapban tüvel szúrt finom

nyiláson át a világos ég felé tekintünk, mialatt a lapot nyílásával folytonosan kevésbé ide-tova mozgatjuk. Még szebben látjuk azokat, ha kicsiny gyűjtő lencsével napfényt pontosítunk össze a szem fehér inhártyájára a külső szemzugban, mialatt szemünket orrunk felé irányítjuk. Ekkor azok úgy mint a 6-ik ábra mutatja, faszerűen szétágazó alakban, de óriási nagyságban mutatkoznak. Ezen árnyékot vető véredények a reczegnek saját mellsőbb rétegeiben fekszenek, miért is természetesen árnyékaik csak úgy érezhetők meg, ha azok a reczegnek tulajdonképen fényérző rétegeit érintik. Ebből következik, hogy a reczegnek hátsóbb rétegei szükségképen fényérzők. Sőt lehetségessé vált, a véredény-árnyak e tüneménye segítségével a reczeg fényérző rétegének távolságát a véredényeket tartalmazó rétegektől megmérni. Ha ugyanis az inhártyán összpontosított fénynek gyújtóját kevésbé eltoljuk, az árnyék is megmozdul a reczegen és szintűgy képmása a láttérben. Ezen eltolódásnak nagyságát könnyen meg lehet mérni, és Heinrich Müller Würzburgban, a ki, fájdalom, a tudománytól időelőtt ragadtatott el, ebből határozta meg ama távolságot, melyet a véredényeket tartalmazó réteg és a csapok közti távolsággal egyenlőnek talált.

Egyébiránt épen a legélesebb látásnak helye tünteti ki magát saját hátrányára ismét más tekintetben; gyengébb fény iránt ugyanis kevésbbé érzékeny mint a reczegnek többi része. Régóta ismeretes, hogy több gyengébb csillag, mint például a Berenice haja, a fias tyúk (a Plejadok) világosabban látszanak, ha valamely kevésbé oldalt eső pont felé tekintünk, mintsem ha azokat egyenes irányban nézzük. Ez kimutathatólag részben ezen helynek sárga színezetétől ered, minthogy azon a kék fény leginkább gyengítettetik, részben pedig talán feltételezve lehet a véredényeknek már említett hiánya által a mondott helyen; ennek folytán ugyanis annak közlekedése az éltető vérrel meg van nehezítve.

Mindezen rendellenességek igen jelentékeny zavart fognának okozni, épügy a mesterséges sötét kamarában, valamint a vele szerzett fényképben. A szemben azt nem teszik, annyira nem, hogy részben még igen is nehéz volt azokat egyáltalában felfedezni. Hogy azok a külső tárgyaknak észrevevését nem zavarják, nem egyedül abban leli okát, hogy két szemmel nézünk, s hogy hol az egyik szem rosszul lát, rendesen a másik nyújt elégséges felvilágosítást. Mert még fél szemmeli látásnál is és félszeműeknél a lát térnek szemléleti képmása mentes azon zavaroktól, miket a háttérnek rendellenességei különben okozhatnának. Sokkal inkább kell annak főokát ismét a szemnek folytonos mozgásaiban keresnünk, valamint abban, hogy a hibák majdnem mindig a láttérnek azon részeire esnek, melyektől az idő szerint figyelmünket elfordítjuk.

Hogy pedig a szemnek ezen és más saját tulajdon láttüneteményeit, mint például fényes tárgyak utóképeit oly nehezen ismerjük fel, addig míg ezek eléggé erősek ké nem lesznek, hogy a külső tárgyaknak észrevevését meg gátolják, az ismét érzéki felfogásunknak másik igen csodá latos és paradox sajátságát képezi, mely nem csak a lát érzéknél, hanem a többi érzéknél is rendesen ismétlődik. Legjobban kitűnik ez e tünetmények felfedezésének törté netéből. Egynéhány közülök, mind pl. a vak folt, elméleti levezetés útján lett felfedezve. Azon hosszan tartott vitában, valjon a fényérzésnek székhelye a retzegen keresendő-e avagy inkább az edényhártyában, Mariotte azon kér dést tevő magának, valjon miként nyilvánul az érzés ott, hol az edényhártya át van fürva. E czélra tehát különös kísérleteket tett és felfedezé a láttérbeli hézagot. Évezredek tartama alatt az emberiség milliói használták szemeiket, ezrek közülök gondolkodtak volt azoknak hatásairól, vala mint ezek okairól, s végre is szükséges volt a körülmé nyeknek ily különös lánczolata arra, hogy ily egyszerű tünetmény, mely mint várni lehetne, a legközvetlenebb

észrevétel tárgyát képezhetné, felismertessék; s még jelenleg is mindenki, ki e kísérletet életében első ízben teszi, bizonyos nehézséget talál abban, hogy figyelmét elvonja azon ponttól, melyre rögzítve néz, a nélkül, hogy ezt mással felcserélné. Sőt még az optikai kísérleteknek hosszú megszokása szükséges, mielőtt a begyakorlott buvár maga is képes behunyt szemnél felismerni a láttérben azonnal a helyet, mely a hézagnak megfelel.

Az ide tartozó tünemények közül mások esetleg lettek felfedezve és pedig többnyire csakis e tekintetben különösen képesített egyének által, kiknek figyelme ez iránt másokénál élesebb volt. Ezen észlelők közül különösen Goethe, Purkinje és Johannes Müller nevezendők meg. Midőn valamely észlelő megkísérti oly tüneményt, melyet leírás után ismer, saját szemében feltalálni, ez néki inkább sikerül mint újat felfedezni; s mégis azon tüneményeknek nagy részét, melyeket Purkinje leírt, mások még mindeddig nem bírták meglátni, a nélkül azonban, hogy biztosan lehetne állítani, miszerint azok csak ez élesen látó buvár szemeinek egyéni sajátságai lettek volna.

Az eddig felemlített tünemények valamint még másféléknek egész sora azon általános szabályban foglalható össze, hogy az érző ideg ingerületi fokának megváltozása sokkal könnyebben észrevehető, mintsem a folytonosan egyenletes ingerület. Ezen szabálynak megfelelőleg az egyes rostoknak az egész életen át egyenletesen fennálló ingerületi sajátságai, mint a szemnek véredényárnyékai, a reczeg központjának sárga színezete, a legtöbb helytálló entoptikai tárgyak épen észre nem vétetnek és felismerhetősökre a megvilágításnak rendkívüli módja, jelesen pedig irányulásuknak folytonos változata szükséges.

Azok után, miket eddig az idegingerület felől tudunk, nekem nagyon valószínűtlennek tetszik, hogy itten tisztán érzési tünemény forogjon fen, sőt inkább a figyelemtől függő tüneménynek vélem azt tekintendőnek és egyelőre csak an-

nak létezésére kívántam figyelmeztetni, minthogy a kérdés, mely már itten előttünk felmerül, csak később oldható meg helyes összefüggésében.

Ennyit a szemnek physikai műveleteiről. Ha azt kérdik tőlem, hogy miért szoltam az olvasóhoz oly hosszadalmasan annak tökéletlenségeiről, akkor azt felelem, hogy az nem azért történt, mint arról előre bocsátott óvástételeimnek is tanúskodniok kellene, mintha a kis szervnek szolgálatképességét lealacsonyítani, és csodálatosságát kisebbiteni akarnám. Hanem szándékom volt az olvasót már e téren arra figyelmeztetni, hogy érzéki eszközeinknek semmiképen sem erőműves tökélye az, mi nekünk ama csodálatosan hűséges és pontos benyomásokat megszerzi. Vizsgálatunk legközelebbi szakasza még sokkal merészebb és paradoxabb összeférhetlenségeket fog felismertetni. Eddig azt láttuk, hogy a szem magában véve mint optikai műszer épen nem oly tökéletes, mintsem lenni látszik, hanem csak azon különös módnál fogva, mely szerint azt alkalmazzuk, képes az oly rendkívüli szolgálatot tenni. Tökéletessége tisztán gyakorlati és nem feltétlen (absolut), nem abban áll az, mintha minden hiba ki volna kerülve, hanem abban, hogy mindezen hibák a leghasznosabb és legváltozatosabb használatát lehetlenné nem teszik.

E tekintetben a szemnek tanulmányozása mély belátást enged nekünk a szervezeti czélszerűségnek jellemébe, oly belátást, mely még érdekesebbé válik, ha azt viszonyba állítjuk azon nagy és merész gondolattal, melyet legújabban Darwin a szerves fajok előhaladó tökéletesbülésének módjára nézve tudományunkba bevetett. S akár hová más-hol a szerves képlődésekbe még betekintünk, mindenütt a gyakorlati czélszerűségnek ugyanazon jellemeire akadunk, csak hogy talán kevésbbé követhetjük azt úgy a részletekig, mint ezt a szemnél tehetjük. A szemnél megvan az optikai műszereknek minden lehetséges hibája, sőt még némely olyan is, melyet mesterséges műszereinknél megítlni

nem fognánk, de valamennyien oly határok közé vannak szorítva, hogy a képnek általuk okozott hiányossága a megvilágítás közönséges feltételei közt, azon mértéket nagyon túl nem lépi, mely az észrevevés finomságának a fényérző csapoknak finomsága által szabva van. De mihelyt kevésbé megváltozott körülmények közt tesszük észleleteinket, észreveszünk a fény szétszóródását, az astigmatismust, a hézagokat, a véredények árnyékait, a közegeknek tökéletlen átlátszóságát, és így tovább.

A mi tehát a szemnek rendeltetéséhez való illeszkedését illeti, úgy az a legtökéletesebb fokban jelen van, s épen azon határookban is mutatja magát, melyek hibáinak szabva vannak. Itt ugyan az, mit a nemzedékek megmérhetlen sorának munkája a Darwin-féle öröklés törvényének befolyása alatt eredményezhet, egybe esik azzal, mit a legbőlesebb bölcsesség előre gondoskodva kigondolhat. Értelmes ember nem fog akarni tüzi fát borotvával hasogatni, és megfelelőleg felvehetjük mi is, hogy a szem optikai alkatának minden finomítása a szövet sérülékenyebbé vagy kifejlődésében lassúbbá fogta volna tenni. S még meg kell gondolnunk azt is, hogy puha, víztől áthatott állati szövetek semmikép sem képeznek optikai műszerhez kedvező és alkalmas anyagot.

Ezen szerkezetnek egyik következménye az, melynek fontossága később még ki fog tűnni, hogy egyedül azon különös, részben már fentebb leírt mód mellett, mely szerint a láttérben szétnézünk, megzavarodás nélkül lehetséges a tiszta felismerés. Egyéb körülményekkel, melyek a leírtakkal egyenlő irány szerint hatnak, később fogunk még megismerkedni.

Egyébiránt úgy látszik, mintha a látásnak megértéséhez eddig sokkal közelebb nem jutottunk volna el. Csak egyet tanultunk, azt t. i., hogyan vált a szem optikai készülékének szerkezete folytán lehetségessé, a fényt, mely a láttérnek különböző pontjaitól vegyesen jut el szemünkbe, ismét

különválasztani és mindazt a mi egy pontból indult volt ki, ismét egy idegrostban érzésre eljuttatni.

Lássuk tehát legelőbb is, vajon fog-e minket az, mit a szemnek érzései felől tudunk, a rejtélynek megoldásához közelebb vezetni.

II.

A LÁTÉRZÉSEK.

Jelentésünk első szakaszában a fénysugaraknak menetét egészen a szemnek reczegéig követtük, s láttuk, mint eszközöltetik az optikai készüléknek különös szerkezete folytán, miszerint a külvilágnak egyes világító pontjaitól kiindult fény az egyes idegrostoknak fényérző végkészülékeiben ismét egyesül akképen, hogy egyedül csak ezeket hozza ingerületbe, s nem egyszersmind szomszédokat is. A régibb élettan azt hivé, hogy itten végződik feladata, a mennyiben az neki megoldhatónak látszott. A külső fény a reczegben közvetlenül talált érző idegállományra, mely azt — úgy látszott — közvetlenül megérezhette.

De a múlt század s jelesen e századnak első negyede az idegrendszerbeli műveletek ismeretét kifejté annyira, hogy Johannes Müller, akkorában még Bonnban, később Berlinben, már az 1826-ik évben képes volt „Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns“ czimű korszakot alkotó művében, az érzéki érzések lényegéről szóló tanra nézve a legfontosabb alapvonalakat megállapítani, melyek a reá bekövetkezett időbeli vizsgálatok által mindeddig

valamennyi lényeges részleteikben nem csak helybenhagyat-
tak, hanem még messzibbre kiterjedő alkalmazásra képe-
sekké bizonyultak, mintsem azt maga a híres berlini physiolog
az akkorában előtte fekvő ismert tények alapján sejdítheté.
Az általa felállított tételek közönségesen a fajlagos
érzéktehetségekről szóló tan neve alatt foglaltat-
nak össze. E tételek tehát már nem annyira újak és
ismeretlenek, hogy azokat épen a látás elméletének leg-
újabb haladásaihoz, melyekről e jelentésnek szólania kell —
sorolni lehetne; és már többször is lettek úgy mások
által, valamint általam is * népszerűen előadva. De a
látásról szóló tannak egész ide tartozó része alig egyéb,
mint a fajlagos érzéktehetségekről szóló tannak további
kifejtése és keresztülvitele, s kénytelen vagyok azért az
olvasó elnézését kikérni, hogy ha itten, az egésznek össze-
függését átnézetben akarván felmutatni, több olyant, mi
már ismeretes, ismét felemlitek vegyesen oly újjal, mit a
maga helyén közbeszöni szándékom.

Mindazt, mit a külvilágból felismertünk, az által vesszük
észre, hogy bizonyos változások, melyeket külső benyomások
érzék-szerveinkben előidézték, az idegek által az agyig
tovaterjesztetnek; csak itten jutnak el azok öntudatunkhoz
és tétetnek a tárgyak képzelmeiként egymással kapeso-
latba. Ha a vezető ideget átmetszszük, úgy hogy a benyo-
másnak tovaterjedése az agy felé meg van szüntetve, akkor
a benyomásnak megérzése és felfogása (perceptioja) is
megszűnik. Tekintettel különösen a szemre, azon körül-
ményben, hogy három méret szerint kiterjedt testi tárgynak
látérzéki képe, miként azt később még részletesebben
taglalni fogjuk, csak mindkét szembeli benyomásoknak

* „Ueber die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen“ a
„Königsberger naturwissenschaftliche Unterhaltungen“ III-ik kötetében
1852. „Ueber das Sehen des Menschen, ein populär-wissenschaftlicher
Vortrag von H. Helmholtz. Leipzig, 1855“.

összeolvadása és összekötése által hozatik létre, bizonyítékát találjuk annak, hogy a látérzéki szemlélet nem közvetlenül az egyes reczegekben, hanem a reczegekbeni benyomásnak tova vezetése folytán csak tovább az agyban jön létre.

A mit mi tehát közvetlenül észreveszünk, az sohasem a külső hatálynak közvetlen benyomása idegeink végeire, hanem mindig csak az idegektől elvezetett változás, melyet az idegnek izgalmi vagy ingerületi állapotának nevezünk.

Ámde a testnek valamennyi idegszála, a mennyire az eddig összegyűjtött tényekből ismerjük, egyenlő szerkezettel bír és az ingerületnek elnevezett változás azokban, bár mennyire különböző működéseket végezzenek is a testben az idegek, valamennyinél azonos nemű folyamatot képez. Mert feladatuk nem csak abban áll, hogy, mint már említettett, érzéki benyomásokat a külső szervektől az agyhoz vezessenek; más idegek éppen ellenkezőleg az inditásokat, melyeket az akaratnak működése létrehoz, az agytól az izmokhoz vezetnek, melyeket megrövidítésre készítenek, hogy így a testnek tagjait mozgásba hozzák. Míg mások a működést az agytól bizonyos mirigyek felé irányítva, ezekben az elválasztást indítják meg, vagy a szív és vér-édények felé, ezekben a véráramlatot szabályozván és így tovább. De mind ezen idegeknek rostjai ugyanazon görcsövérszeti finom, üvegátlátszó, hengerded szálakból állanak ugyanazon részint olajos, részint fehérnyeszerű bennéssel.

Van ugyan különbség vastagságukra nézve, mely azonban, a mennyire azt megismerhetjük, csak mellékes viszonyoktól függ, tekintettel a kellő szilárdságra és az egymástól független vezető utaknak kellő számára a nélkül, hogy az lényeges viszonyban állana hatásaiuknak különféleségével. S miként nevezetesen E. du Bois-Reymond vizsgálataiból kitűnik, valamennyien bírnak ugyanazon villamindító hatásokkal, az ingerületi állapot valamennyiben ugyanazon erőművi, villanyos, vegyi és hőmérséki változások által

idéztetik elő, s ugyanazon megmérhető, egy másodperc alatt mintegy száz lábra terjedő sebességgel terjesztetik tova a rostnak mindkét vége felé, és villamindító tulajdonságaikban ugyanazon változásokat idézi elő. Valamennyien végre ugyanazon feltételek közt halnak el, ez elhalásuknál bennükben felelkező, csak vastagságukhoz képest kevésbé különbözően mutatkozó megalvadásokat szenvedve. Röviden mindaz, mit az idegeknek különféle nemei felől kipuhathatunk, a nélkül hogy e mellett még a testnek többi szervei, melyekkel azok összefüggnek, és melyeken élő állapotban ingerületüknek hatásai nyilvánulnak, közreműködnek, mind az, az idegeknek valamenyi nemeinél teljesen azonos. Sőt sikerült legújabb időkben két francia életbuvárnak, Philippeau és Vulpian-nak az átmetszett nyelvbéli érzőidegnek felső felét összenöveszteni az átmetszett ugyanazon szervbeli mozgató idegnek alsó végével. Mire a felső részletnek ingerülete, mely rendes viszonyok közt mint érzés nyilvánul, ezen megváltozott összefüggés folytán, a hozzá nőtt mozgató idegre, és a nyelvnek izomrostjaira átterjesztvén, most mint mozgási ingerület tűnt elő.

Következtetjük ebből azt, hogy mindazon különféleség, melyet különböző idegtörzsek ingerületének hatása mutat, egyedül a szerveknek különféleségétől függ, melyekkel az ideg összekötve van, és melyekre ingerületének állapotát átruházza.

Már gyakran lettek az idegszálak összehasonlítva a távirászati huzalokkal, melyek valamely országon átvonulnak; s valóban e hasonlatosság nagy fokban alkalmas hatásuknak egyik szembeszökő és fontos sajátságát felderíteni. A távirászati hálózatban ugyanis mindenütt egyenlők a részvagy vashuzalok, melyek mind ugyanazon nemű mozgást t. i. villamáramot terjesztenek tova, mindamellett az egyes állomásokon a legkülönbözőbb hatásokat eredményezhetik, a segédkészülékek szerint, melyekkel összekötvék. Majd harang kondul meg, majd jeladó, majd író készülék tétetik

mozgásba; majd pedig vegybontások szolgálnak a távirat jelzésére. Sőt még az emberi karnak megrázkódásai, mint azokat a villamáram előidézi, távirászati jelek gyanánt felhasználhatók és az atlanti sodronykötél lebecsátása alkalmával W. Thomson találá, hogy a leggyengébb jelek az izlési érzések által még felismerhetők voltak, midőn a huzalok a nyelvre lettek illesztve. Röviden szólva, azon százféle különböző hatások mindenikét, melyeket egyáltalában villamos áramok létrehozni képesek, a bármely távol eső helyig elvezetett távirászati huzal képes ottan előidézni és mégis mindezen különböző hatásokat a huzalban mindig egy ugyanazon folyamat eszközli.

Így tehát a távirászati huzalok és az idegek igen feltevő példáként szolgálnak azon tétel megvilágosítására, miszerint egyenlő okok, különböző feltételek alatt, különböző hatásokat eredményezhetnek. De bár mennyire elkopottnak látszassék is ez állítás, még is annyira hosszú és nehéz munkájába került az emberiségnek, míg azt megértette és azt az ok és eredmény közt előbb felvett egyenlőség helyébe állította. S alig lehet állítani, hogy alkalmazásában már teljesen begyakorolva vagyunk. Épen az itt előttünk fekvő téren terjeszkedik ki a következményei iránti ellenszegülés még a legújabb időig.

Mig tehát az izomidegek, izgatva, mozgást okoznak, a mirigyidegek elválasztást, addig az érző idegek izgatásukkor érzést keltenek. Ámde igen sokféle az érzésnek nemei. Mindenekelőtt is a külvilági tárgyakra vonatkozó érzések, megfelelőleg az öt érzéknek, öt egymástól teljesen különválasztott csoportra oszlanak, melyek közt a különbség oly nagy, hogy a fényérzés és hangérzés vagy a szagérzés minőségi tekintetben egymással még csak össze sem hasonlíthatók. E különbséget, mely tehát sokkal behatóbb mint az egymással összehasonlítható minőségek közti különbség, az érzés módjában li különbségnek fogjuk nevezni; ellenben a különbséget egy és ugyanazon érzék tulajdon érzései —

például a különböző színérzések — közt, mint minőségi különbséget jelzeni.

Valjon valamely idegtörzsnek ingerlése által izommozgást, elválasztást vagy érzést idézünk-e elő, attól függ, valjon izomideget, mirigyideget vagy érzőideget találtunk-e érinteni, és épen nem függ az alkalmazott ingernek nemétől, akár villamos csapás, akár vongálás vagy az idegnek átmetszése vagy konyhasó oldattal nedvesítése vagy érintés forró huzallal volt legyen az inger. Épen úgy — s ebben állott azon haladás, melyet Johannes Müller tett — függ az érzésnek módja is, valjon fény vagy hang, vagy tapintás, szag vagy íz fog-e éreztetni, midőn valamely érzőideget izgatunk, egyedül az érzéktől, melyhez az ingerlett ideg tartozik és semmiképen sem az inger nemétől.

Alkalmazzuk a mondottat a látidegre, mely minket itt főleg foglalkoztat. Legelőbb is tudjuk, miszerint soha semmiféle behatás testünk bármely részére, mint egyedül a szemre és a hozzátartozó látidegre, nem képes fényérzést kelteni. Az alvajárók azzal ellenkező történeteit szabad lesz nem hinnünk. Másfelől azonban nem egyedül a külső fény képes szemünkben fényérzést kelteni, hanem minden másnemű behatás is, mely az ideget ingerelni képes. Még a leggyengébb villamos áramok is, a szemén átvezetve, fényfelvillanást okoznak; lökés vagy még gyenge nyomás is a szemteke oldalára az ujj körmével gyakorolva, a legsötétebb űrben fényérzéseket, még pedig kedvező körülmények közt igen erőseket kelt. S meg kell jól jegyeznünk, hogy a reezegben ekkor valószínű fény épen nem támad, mint azt némely régibb életbuvárok hitték. Mert a fényérzés annyira erős lehet, hogy a reezegnek az annak előidézésére szükségelt megvilágítását egy másik észlelőnek mellől a látán át minden nehézség nélkül látnia kellene, hogy ha az érzés a reezegben valósággal kifejtett fény által keltetett volna. Ilyesminek azonban legkisebb nyoma sincs. Nyomás, villamáram ingerli ugyan a látideget, tehát a Müller-féle törvénynek meg-

felelőleg fényérzést kelt, mindazáltal legalább az itt előforduló körülmények közt valóságos fényt a legcsekélyebb mennyiségben sem fejleszt.

Szintúgy képes vértorlódás a szemben, annak rendellenes alkata, lázas betegségekben, vagy részegítő és bődító szerekek felvétele folytán, a látideg készülékében fényérzéseket előidézni, melyeknek semmiféle külső fény nem felel meg. Sőt még oly esetekben, midőn megsérülés vagy műtét folytán a szem teljesen elveszett, képes az idegtörzset ingerlő seb káprázatos fényérzéseket létrehozni.

Ezekből legelőbb is következik, hogy azon sajátságos mód, mely által a fényérzés minden másféle érzéstől magát megkülönbözteti, épen nem függ a külső fénynek netalán különösen sajátságos tulajdonságaitól, sem nem felel meg ilyeneknek, hanem hogy minden behatás, mely épen a látideget ingerületi állapotba teszi, fényérzést idéz elő, oly érzést, mely a külső fény folytán támadt érzéshez annyiban megkülönböztethetetlenül hasonló, hogy azok, kik e tüneteknek törvényét nem ismerik, könnyen azt hiszik, hogy valósággal tárgyilagoss fénytüneteményt láttak.

A külső fény e szerint nem idéz elő a látidegben egyebet, mint a mit teljesen különböző természetű hatányok szintén előidézni képesek. Csak egy előnnyel bír az ezen idegnek többi ingerlő szereit felett, azzal t. i., hogy a látideg elrejtve lévén a szilárd szemtekének mélyében és a csontos szemgödörben, valamennyi többi ingerlő szerekek behatása alól majdnem teljesen el van vonva, míg a fénysugarak a szemnek átlátszó közegein keresztül folytonosan akadálytalanul eljuthatnak hozzája. Másfelől azonban a látideg is, a rostjainak végén lévő különös végszervek, a reczegnek csapjai és pálezikái folytán a fénysugarak iránt aránytalanul érzékenyebb, mint a testnek bármely más idegkészüléke, minthogy a többiekre a fénysugarak hatást csak akkor gyakorolnak, ha ezek észrevehető hőmérséki emelkedés előidézéseire elégségesen tömörültek.

E körülmény fejti meg azt, hogy a látideg-készülékbeli érzés a láttérben jelenlévő fénynek közönséges érzéki jelétül szolgál nekünk, és hogy a fényt és a fényérzést egymással mindig összekötve lenni hiszszük még ott is, hol azok összekötve nincsenek, jöllehet azonnal, a mint a tényeket teljes összefüggésükben áttekintjük, többé a felől nem kételkedhetünk, hogy a külső fény csak az ingerek egyike, mely úgy mint a többi ingerek, a látideget ingerületi állapotba hozhatja, és hogy e szerint fény és fényérzés közt kizárólagos viszony nem áll fenn.

Miután így az ingerek behatását az érzéki idegekre általában taglalhattuk, áttérünk most különösen a fényérzésbeli minőleges különbségekre, azaz különbféle színeknek érzéseire, s nevezetesen kutatni akarjuk, mennyiben felelkezők ezen érzésbeli különbségek a testvilágbeli valóságos különbségekkel.

A természettan azt bizonyítja, hogy a fény a világűrben elterjedt, rugalmas, fényéternek nevezett közegnek hullámzatosan szétterjedő, lengedező mozgásában áll, mely hasonló a szétterjeszkedő hullámgyűrűkhez sík vízfelületen, melyre kő hullott, vagy azon megrázkódáshoz, mely légkörünkben mint hang terjed tova; csak hogy úgy a fénynek szétterjedése, valamint a sebesség, melylyel a fényhullámoktól mozgatott részecskék ide-tova haladnak, rendkívülképen sokkal nagyobb mint a víz- és hanghullámoké.

Ámde a naptól kiinduló fényhullám-huzamok nagysági viszonyaikra nézve jelentékenyen különbözők egymástól, úgy mint valamely vízfelületen is majd csekély fodrozatokat, azaz rövid hullámokat láthatunk, melyeknek hullámtetői egymástól egy vagy több hullámhossznyi távolban állanak, majd a világtenger hosszú hullámait, melyeknek habzó ormai közt 60 sőt 100 lábnyi szélességű völgyek fekszenek. Mindazáltal valamint a vízfelületnek magas és alacsony, rövid és hosszú hullámai nem különböző neműek, hanem csak nagyságra nézve különböznek egymástól, szintúgy a naptól kiinduló

különböző fényhullám-huzamok is különbözök ugyan nagyságukra és hullámaiknak hosszára nézve, egyébként azonban valamennyien ugyanazon nemű mozgást visznek végbe és valamennyien mutatják, habár természetesen bizonyos, hullámaik hosszértékétől függő különbséggel, a tükrözésnek, törésnek, hullám-átszelődésnek, szétszóródásnak, sarkításnak ugyanazon nevezetes természettani tulajdonságait, miből következtetnünk kell, hogy valamennyinél a fényéternek lengedező mozgása egynemű. Nevezetesen felemlítendő, hogy a hullámszelődés tünetényei, melyeknél a fény azonos nemű fény által, a bejárt út hossza szerint, majd erősbittetik, majd megsemmisítetik, azt bizonyítják, miszerint mindezen sugárzások lengedező hullámmozgás által képeztetnek, továbbá hogy a sarkítási tünetények, melyek különböző oldalirány szerint különbözően viseltetnek, következtetni engedik, miszerint a mozgó részecskéknek lengési iránya a sugár tovaterjedésének irányára merőlegesen áll.

A sugaraknak mindezen különféle nemei azon közös hatással bírnak, hogy a földi testeket, melyekkel találkoznak, megmelegítik, következésképp valamennyien bőrünk által is mint meleg sugarak megéreztetnek.

Szemünk ellenben ezen éterlengéseknek csak egy részét érzi meg mint fényt. A nagy hullám-hosszsal bíró hullámhuzamokat ugyanis, melyeket a világítenger hosszszű hullámaihoz kellene hasonlítani, épen nem érzi meg; miért is ezeket sötét sugárzó melegeknek nevezzük. Ilyenek azon sugarak is, melyek valamely forró, de nem izzó kályhától kiindulnak, és minket ugyan melegítenek, de nekünk nem világítanak.

Ezután még a legrövidebb hullámhosszsal ellátott hullámhuzamokat, melyek tehát azon igen csekély fodrozatnak felelnek meg, melyet könnyű szellő tőfelületen előidéz, szemünk csak oly felette gyengén érzi meg, hogy a sugaraknak ezen nemét közönségesen szintén láthatatlanoknak tekintették és sötét vegyhatású sugaraknak nevezték el.

De az igen hosszú és az igen rövid éterhullámok közt közbül állanak középhosszúságu hullámok, melyek szemünkre erősen hatnak, egyébként azonban természettani viszonyaikra nézve a sötét meleg sugaraktól és a sötét vegyhatású sugaraktól lényegesen semmiképen nem különböznek; különbségük ez utóbbiakból a hullám hosszának különböző nagysága és az ezzel összefüggő természettani viszonyok által van feltételezve. Ezen közép sugarakat fénynek nevezzük, mert ezek egyedül azok, melyek szemünknek világítanak.

Midőn ezen sugaraknak melegítő tulajdonságaira vagyunk tekintettel, azokat világító melegnek is nevezzük, és minthogy azok bőrünkre annyira különböző benyomást gyakorolnak, mint szemünkre, közönségesen szokás volt ezelőtt mintegy 30 évvel, azt, a mi melegít, teljesen másnemű kisugárzásnak tekinteni, mint azt, a mi világít. A világító napsugarakban mindkettő azonban véglegesen azonos, és miként a legszorgosabb újabb természettani vizsgálatok bizonyítják, egymástól különválaszthatlanok. Bármely optikai vizsgálatoknak vessük is azokat alá, lehetetlen világító erejüket gyengíteni a nélkül, hogy egyszersmind és ugyanazon arányban melegítő és vegyési hatásukat is nem kisebbitenők. Minden folyamat, mely az éter lengőmozgását megszünteti, megszünteti természetesen egyszersmind ezen lengőmozgásoknak minden hatását is, a világítást, melegítést, a vegyési hatást, a fluorescentiának bekövetkezését és így tovább.

Az éternek azon lengései, melyek erősen hatnak szemünkre, melyeket fénynek nevezünk, hullámhosszaiknak különfélesége szerint a különféle színeknek benyomását kelтик. Azok, melyeknek hullámhossza nagyobb, vöröseknek ketszenek, ezekhez csatlakoznak lassanként apadó hullámhossz szerint az arany sárgák, sárgák, zöldek, kékek és ibolya színűek, mely utóbbiaknak hullámhossza a világító sugarak közt a legrövidebb. Mindenki ismeri e színsorozatot a szivárvány után; látjuk azt, midőn üveghasá-

bon át láng felé nézünk, e színekben játszó gyémánt szintén ezen sorrend szerint veti azokat különféle irányban szét. A nevezett átlátszó testekben ugyanis a különböző hullámhosszaik szerint különböző színű fényelemek egymástól elválhatnak a már az első cikkben említett különböző erejű törés folytán, úgy hogy azután mindenik saját különös színében külön jelenkezhetik. A különféle egyszerű fényeknek ezen színei, miként azokat legjobban valamely keskeny fényvonalnak üveghasáb által előállított színe képe feltünteti, egyszersmind a legfénylőbb és legteltebb színek, melyeket a külvilág felmutathat.

Több ily szín, összeelegyítve, valamely új, többnyire többé-kevésbbé fehéres szín benyomását okozza. Ha valamennyien épen azon arányban, melyben azok a napfényben foglaltatnak, összeelegyítettnek, akkor a fehér színnek benyomását adják. A mint pedig ily elegyékben a hosszabb, közép vagy legkisebb hullámhosszal bíró sugarak túlnyomók, a szerint tetszik az vörösfehérnek, zöldesfehérnek, kékesfehérnek stb. Mindenki, ki valamely festésnek eljárását megfigyelte, tudja, hogy két szín egymással elegyítve, új színt ad. Jóllehet pedig egyes esetekben a színes fény elegyítésének eredménye sokban eltér attól, melyet a festékek elegyítése ad, egészben véve mégis a tünemény mindkét esetben a szemre nézve hasonló. Ha valamely fehér ernyőt vagy reczegünkön valamely helyet egyidejűleg kétféle különböző fény nyel világítunk meg, szintén csak egyféle színt látunk a kettő helyett, oly vegyes színt, mely az eredetileg adott két színtől többé-kevésbbé különböző.

A legfeltűnőbb különbség a festékelegyék és a színes fénynek elegyéke közt abban mutatkozik, hogy míg a festés sárga és kék színből zöldet állít elő, addig a sárga és kék fény elegyítve fehér színt ad. A színes fény elegyítésének legegyszerűbb módja a 7-dik ábrában van kijelölve, melyben p kis sík üveglapot, b és g pedig két színes ostyát jelent. Az észlelő b -t az üveglapon át látja, g -t ellenben a lapban

tükröződve; s ha g helyesen fekszik, akkor tükörképe egybeesik b -vel. Úgy látszik akkor, mintha b -nél csak egyetlen egy ostya volna a két valóságos ostyának színében jelen. Itten valósággal a fény, mely b -től jöve p lapon átjut, egyesül azzal, mely g -től indulva p lapon visszaverődik, mialatt mindkettő p -től tovább az o -nál levő szem felé ennek reczegéig halad.



7-ik ábra.

Általában tehát a különmemű fény, melyben különféle értékű hullámhosszal bíró hullámhuzamok foglaltatnak, szemünkre különböző benyomást gyakorol, értvén t. i. a különféle színeket. A felismerhető színekülönbségek száma azonban sokkal kisebb, mint a különféle fénysugárelegyeké, melyeket a külvilág szemünkbe bocsáthat. A reczeg meg nem különbözteti azon fehér színt, mely vörhenyvörös és zöldes kék fényből van összetéve, attól, mely zöldes kék és ibolya színű vagy sárga és halvány kék ultramarin fényből, vagy vörös, zöld és ibolya színűből, vagy a színeknek valamennyi színeiből van összetéve. Mindezen elegyek azonos fehérnek látszanak; de természettanilag igen különbözően viseltetnek, sőt még ha attól eltekintünk, hogy azok szemünkre nézve megkülönböztethetlenség, úgy éppen semmiféle természettani hasonlóságot sem lehet a nevezett különböző fénycategyek közt felmutatni. Így fogna például valamely vörös és zöldes kék fénynyel megvilágított felület a fényképben feketének, ellenben a sárgászöld és ibolya színűvel megvilágítva igen világosnak látszani, jóllehet szemünknek mindkettő teljesen egyenlő fehérnek mutatkozik. Ha tovább színes testeket ily különféle képen összetett fehér fénynyel megvilágítanánk, azok teljesen különbözőleg színezve és megvilágítva fognának mutatkozni. Valahányszor ilyféle fényt hasáb által széthonta-

nánk, különfélesége azonnal napvilágra fogna kerülni, szint-
 úgy mint midőn színes üvegen át feléje tekintenénk.

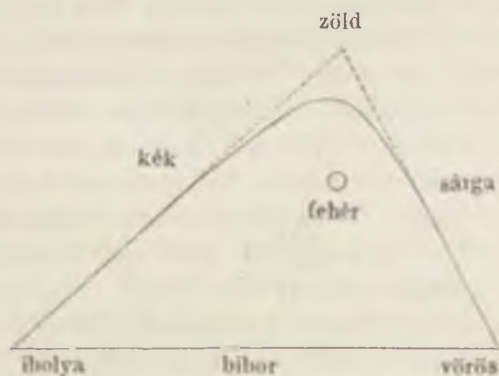
Hasonlóan mint a tiszta fehér fényt, lehetséges más
 színeket is, főleg ha nem nagyon teltek, különféle egyszerű
 fénynek igen különböző elegyégeiből, a szemre nézve meg-
 különböztethetetlenül összeállítani, a nélkül, hogy az ily egyenlő-
 nek látszó fényt bár mely természettani vagy vegytani
 viszonyra nézve egyeneműnek lehetne tekinteni.

Már Newton tanította, mint lehet igen egyszerű mó-
 don a szem által megkülönböztethető színeknek rendszerét
 áttekinthető térszerű képbe összeállítani, melynek segítsé-
 gével a színelegyülésnek törvénye is aránylag könnyen
 kifejezhető; képzeljük ugyanis a tiszta színeképi színek sorát
 valamely körnek kerülete hosszában megfelelőleg felosztva,
 kiindulva a vörösből és észrevehetetlen fokozat szerint az
 égi szivárvány színeinek során át az ibolyáig haladva,
 végre az összekötést a vörös és ibolya szín közt a biborpiros
 által helyreállítva, mely egyfelől a kékesebb ibolya, más-
 felől az inkább a sárga felé hajló színeképi vörhenyvörös
 szín felé fokozatot enged. E körnek központjába a fehér
 szín helyeztessék, míg a központtól a terület felé haladó
 sugarakra lassú átmenet szerint azon színek állittassanak,
 melyek az illető területbeli telített színek elegyüléséből
 a fehérrel keletkezhetnek. Akkor az ily színekör felmutatja
 mindazon különféleségeket, melyeket a színek egyenlő fényerő
 mellett mutathatnak.

Lehetséges pedig — mint bebizonyítható — az ily
 szintáblán az egyes színek felosztását, valamint fényerejük-
 nek mértékét akképen megszabni, hogy a fényerők közt
 azon módon, mint velők arányos két súly közt a súlypontot
 felkeresvén, a tábla minden két színének megfelelő elegyszíne,
 melyeknek fényereje adva van, épen ezen fény mennyiségek
 súlypontjában feltalálható legyen. Mi tehát annyit tesz:
 a helyesen szerkesztett szintáblán minden egyes színpárnak
 elegy-színe feltalálható azon egyenes vonalon, mely a két

színek helyeit a táblán összeköti és azon elegyes színek, melyek az egyik színből többet tartalmaznak, annál közelebb állanak ez utóbbihoz, mentül többet tartalmaznak abból és mentül kevesebbet a másik színből.

Megjegyzem, miszerint ily berendezésnél azon színeképi színek, melyek a külvilágnak legteltebb színei és azért a középbeli fehér szintől legmesszebbre a szintáblának kerületén foglalnak helyet, körbe nem sorakoznak; sőt inkább a színábra kerülete három kiálló csücsöt kap a vörös, zöld és ibolya színnél, úgy, hogy a teljes alak inkább hasonlít szögleteiben kikerekített háromszöghöz, minőt a 8-ik ábra



8-ik ábra.

mutat. Ebben a folytonos határvonal képviseli a színeképi színek görbéjét, közepén pedig a kis kör a fehér szint*.

Míg e szögleteken épen a kijelölt színek állanak, addig a háromszögnek oldalain az átmenetek foglalnak helyet a vörösből a sárgán át a zöld felé, a zöldből a zöldeskéken és halványkéken (ultramarin) át az ibolya szín felé, és az ibolyából a bíborvörösön át a vörhenyvörös felé.

* J. J. Müller ur kísérletei nyomán visszaállítottam ismét az ibolya szint az alapszínek sorába, míg ezen értekezésnek első lenyomatában, Maxwell véleményét követve, a kéket vettem fel alapszíneként.

Mig Newton a színrendszernek, habár az itt előadottól eltérő módoszat szerint szerkesztett térbeli összeállítását csak eszközként használá arra, hogy az e téreni összetett tényviszonyok felett érzékileg szemlélhető átnézetet nyújtson, újabban Maxwellnek sikerült az e szemléleti képben összefoglalt tételeknek szigorú valóságát mennyileges viszony szerint is bebizonyítani. Sikerült ez színelegység által gyorsan forgó korongokon, melyek szelvényei különféle színekkel színezvék. Midőn ily korong gyorsan körülforog, úgy, hogy a szem nem követheti az egyes színes szelvényeket, akkor ezeknek színei egyenletes elegyszínné olvadnak össze, és lehetséges minden egyes színnek fénymennyiségét az általa elfedett körszelvénynek szélességéből közvetlenül meghatározni. De az így létrejött elegyszínek, miként kísérletileg bebizonyítható, teljesen azokkal azonosak, melyek ugyanazon felületnek folytonos megvilágításakor az illető színek által támadni fognának. Ekképen mérték és szám van átültetve a színeknek az iránt annyira hozzáférhetlennek látszó területére és minőleges különbségei vissza vannak vezetve mennyileges viszonyokra.

E szerint a színeknek valamennyi különbségei összehasonthatók e háromra, melyeket mint különbségeket az árnyalatra, a teltségre és a világosságra nézve jelezhetünk. Az árnyalatbeli különbségek azok, melyek a különböző színek között fennállanak, s miket a vörös, sárga, zöld, kék, ibolya, bíbor neveivel jelezünk. Az árnyalatra nézve tehát a színek magában visszatérő sort képeznek, mikép ilyenhez eljutunk, ha a szírvárványnak végszíneit a bíborvörösön át egymásba engedjük átmenni, és mikép azokat a szintábla kerülete folytában rendezve képzelhetjük. A színek teltsége legnagyobb a tiszta színekéinél (legalább a külső fény által előállítható színek közt; de mint tovább látni fogjuk, a szem érzésében még további fokozat is lehetséges), annál gyengébb lesz az, mentül több vegyül hozzá a fehérből. Így

megfelel a rózsavörös szín a halvány (fehéres) bibornak, a husvörös a halvány vörhenyvörösnek, a halvány sárga, halvány zöld, fehéres kék stb. szintén ily kevésbé telt fehérrel elegyített színeknek. Valamennyi elegyes szín rendesen kevésbbé telt mint az egyszerű szinképi színek. Végre hátra vannak még a világosság vagy fényerősségének a szintáblában nem képviselt különbségei. Mindaddig, míg színes fényt szemlélünk, e fényességbeli különbségek csak mennyilegeseknek és nem minőlegeseknek tetszenek. De másként áll a dolog, ha testszíneket szemlélünk; a fekete szín ép úgy megfelel valamely testi felület bizonyos sajátosságának a fény visszaverődésekor, mint a fehér, miért is épen úgy szín gyanánt nevezhető el, mint az utóbbi. S így találjuk valóban a nyelvben még az elnevezéseknek egész sorát fényszegény színek számára. Sötétnek nevezük a színt, ha az fényszegény, de telt, ellenben szürkének midőn az fehéres. Így a sötétkék nem egyéb mint fényszegény telt kék, a szürkék pedig fényszegény fehéres kék. Ez utóbbi elnevezés helyett némely színeknél még különös nevek is használtatnak. Így a vörösbarna, barna, olajbogyó-zöld szín, a vörös, sárga és zöldnek többé kevésbbé telt, de fényszegény fokozatai.

Ekképen tehát minden lehetséges tárgyilagossá különbség a fény összetételeiben az érzésre nézve visszavezethető a különbségeknek csupán három nemére, úgymint a színárnyalat-, a teltség- és a világosságbeli különbségre. Ekképen jelzi a nyelv is a színek rendszerét. De lehetséges e háromféle különbséget még másképen is kifejezni.

Fentebb mondtam, hogy a helyesen szerkesztett színtábla kerületében háromszöghöz közeledik. Tegyük fel egy pillanatra, hogy az valósággal egyenes vonalú háromszög, minőt a 8-ik ábrának pontozatos vonala felmutat; e felvételnek a valóságtól eltérése iránt később fogjuk magunkat igazolni. Álljon a vörös, zöld és ibolya szín a szögleteken.

Úgy az elegyítésnek fentebb felállított törvényéből következik, hogy minden szín a háromszögnek belsejében valamint oldalain elegyíthető a szögleteken álló három színből. Így tehát minden színbeli különbség arra vezethető vissza, hogy az három alapszín különböző elegyítési viszonyainak felel meg. Alapszínek gyanánt legjobban a fentebbi három szín választható. A három régebbi alapszín, mint a vörös, sárga és kék, észszerűtlenül csupán a festékek elegyítése alapján volt kiválasztva; de sárga és kék fényből nem lehet zöldet előállítani.

A sajátyszerűség, mely abban fekszik, hogy valamennyi külső fénynek összetételében lehetséges különféleség visszavezethető három alapszínnek elegyékeire, jobban felfogható, ha összehasonlítjuk e tekintetben a szemet a füllel.

Mint már előbb említém, a hang sem egyéb mint hullámszerűen szétterjedő lengő mozgás; a hangnál is meg kell különböztetnünk különböző hullámhosszal bíró hullámhuzamokat, melyek fülünkben minőségükben különböző érzéseket keltenek; a hosszú hullámokat ugyan is mint mély hangokat halljuk, a rövideket pedig mint magasakat. Fülünkhöz is egyidejűleg sok ily hullámhuzam, azaz sokféle hang eljuthat. Fülünkben azonban e hangok nem olvadnak egy elegyes hangba össze. Nem helyettesíthetjük a két egyidejűleg felszólaló *C* és *E* hangot például *D* hang által, a nélkül, hogy a benyomást fülünkre nézve teljesen meg ne változtatnók, ellenben szemünk nem veszi észre, ha vörös és sárga helyébe a narancs színt állítjuk. Valamely teljes zenekar legösszetettebb összhangzata — accordja — érzésünkre nézve is megváltozik, hogy ha a hangok bármelyikét egy vagy két mással felcseréljük. Legalább begyakorlott fülre nézve egy hangzat sem azonos teljesen mással, mely más hangokból van összeállítva. Ha a fül a hangok irányában úgy viseltetnék mint a szem a színek irányában, akkor minden hangzat teljesen helyettesíthető fogna lenni egyedül állandó

három hangnak, t. i. egy igen mély, egy közép és egy igen magas hangnak összetétele által, a mi mellett csak e három hang erejének viszonyát fogna kelleni megváltoztatni. Minden zene visszavezethető fogna akkor lenni egyedül három hangnak összetételére.

De éppen ellenkezőleg azt találjuk, hogy valamely hangzat a fülre nézve csak akkor marad meg változatlanul, ha a benne foglalt minden egyes hangnak hangereje változatlanul marad. Pontos és teljes jellemzésére tehát megkívánnánk, hogy minden egyes hangjának hangereje pontosan meghatározottassék. Szintúgy a fénynek valamely neme természetlanilag teljesen csak úgy határozható meg, hogy minden egyes benne foglalt egyszerű színnek fényereje megméretik és meghatároztatik. A napnak, a legtöbb csillagnak és lángnak fényében azonban számtalan közbenső fokozatokon át folytonos átmenetet találunk a színek közt. Az ily fénynek természetani jellemzésére szükséges volna végtelen sok elemnek fényerejét meghatározni. E helyett szemünk érzésében csak három elemnek változó erejét különböztetjük meg.

A gyakorlott zenész képes a teljes zenekarnak összetett hangzataiban a különféle műszereknek egyes hangjait közvetlenül megkülönböztetni. A természetbuvár nem képes a fénynek összetételét közvetlenül szemével megismerni, hanem szemét hasábbal, mely a fényt szétbontja, kell felfegyvereznie. Akkor azután a fény különfélesége is feltűnik, és a sötét és világos vonalak szerint, melyeket a szinkép neki felmutat, megkülönbözteti egymástól az álló csillagoknak fényét, valamint felismeri a vegyelemeket, melyek a földi lángokban, vagy a napnak, az álló csillagoknak, a ködfoltoknak izzó légkörében foglaltatnak. Éppen azon, hogy minden egyes fényforrásnak fénye, összetételében bizonyos meg nem semmisíthető természetani sajátságokkal bír, alapszik a szinképi vegybontás, az utóbbi éveknek e legfényesebb felfedezése, mely a világításnak legvégsőbb távolait a vegybontásnak hozzáférhetővé tette.

Felette érdekes pedig, hogy éppen nem ritkán oly szemek fordulnak elő, melyeknél a színekülönbségek még egyszerűbb rendszerre, t. i. csak két alapszínnek elegyeire van visszavezetve. Az ily szemeket színvakoknak nevezik, minthogy oly színeket tévesztenek össze, melyek közönséges szemnek igen különbözőknek látszanak. Másféle színeket ellenben képesek megkülönböztetni s pedig szintoly határozottan, sőt úgy látszik még valamivel finomabban, mint a rendes szemek. Közönségesen azok vörösszínvakok szoktak lenni, azaz színrendszerükben hiányzik a vörös szín és mindazon árnyalatok, melyek a különféle színek közt a vörösnek hozzáelegyítése által hozatnak létre. Valamennyi színekülönbség nekik úgy látszik, mint a kéknek és zöldnek, vagy mint ők azt nevezni szokták, a sárgának valamely különbsége. Így tehát a vörhenyvörös, husvörös, fehér és zöldes-kék nekik azonos színeknek tetszenek, vagy legfőlebb a világosságra nézve különbözőknek, szintúgy a bíborvörös, ibolya és kék, szintúgy a vörös, narancssárga és zöld szín. A gerely (Geranium) vörhenyvörös virágát teljesen azonos színárnyalatban látják, mint ugyanazon növénynek leveleit; ők nem képesek a vasuti vörös és zöld jellámpákat megkülönböztetni. A színeképnek vörös végét nem látják, igen telt vörhenyvörös szín nekik majdnem feketének tetszik, úgy hogy például egy vörösszínvak skót pap elesábitani engedé magát papi köntöséhez vörhenyvörös posztót választani, minthogy azt feketének tartá. Sőt akadunk még e téren is ismét a reezeg felületének sajátzerű egyenlőtleniségeire. Először minden ember vörösszínvak láttérének legvégsőbb szélén. A gerely virágát, a láttér szélén ide-tova mozgatván azt, mint mozgó tárgyat megismerjük ugyan, de színét meg nem ismerjük és ugyanazon növény levélhalmaza előtt ide-tova mozgatva, az külsejében nem különbözik a levelek zöldjétől. Egyáltalában minden vörös szín oldalagos látáskor sokkal sötétebbnek látszik. A láttérnek ezen vörös színvak része legszélesebb annak orri oldalán, sőt W o i n o w

urnak újabb vizsgálatai szerint a látható térnek legvégsőbb szélén egy keskeny öv van, melyen a színtülönbség végkép hiányzik és csak még a világosságbeli különbségek állanak fen. Ezen legszélsőbb övön minden fehérnek, szürkének vagy feketének látszik; valószínűleg csak a zölden érző rostok egyedül vannak még e helyen meg.

Másodszor a reczegnek közepe — miként már említém, a központi gödör körül sárgásan színezett, minek következtében minden kék szín épen a láthatár közepén kevésbé sötétebbnek látszik. Ez jelesen a vörös és kékeszöld elegyeinél tűnik fel, melyek ha egyenes irányban tekintetnek, fehérnek látszanak, de már kis távolságban a láttér közepétől túlnyomóan kékes színt mutatnak és megfordítva, ha itten fehérnek látszanak, egyenes irányban megtekintve vörösök.

A láttérnek ezen egyenlőtlenségei is kiegyenlítettnek tekintetünk folytonos mozgása által. A külvilágban közönségesen előforduló fehérés vagy halavány színekhez képest tudjuk már, hogy minő benyomások oldalagos látásnál fellelnek meg másoknak az egyenes látásnál, miért is a testek színezetét, azonnal azon benyomás szerint ítéljük meg, melyet az egyenes látásnál tenni fogna. Arra, hogy a különbség felismerhető legyen, ismét szokatlan színelegyítések vagy a figyelemnek bizonyos irányulata szükséges.

A színek elmélete mind ezen sajátságos és bonyolodott viszonyokkal együtt, miket leírtam, oly dió volt, melyen nem csak Goethe hiába tördöste fogait, hanem mi, természet- és életbuvárok is; ide foglalom enmagamat, minthogy magam is azzal sokáig bibelődtem, a nélkül hogy tulajdonkép célhoz közeledtem volna, míg fel nem fedezém, hogy a rejtélynek meglepően egyszerű megoldása már e századnak elején meg volt találva és régóta kinyomtatva olvasható. Megtalálva és megoldva volt az pedig ugyan azon Young Tamás által, ki az egyiptomi hieroglyphok rejtélyével szemben szintén a megfejtésnek első helyes nyomára akadt. Egyike

volt ő a legélesebb elméjű férfiaknak, kik valaha éltek, az volt azonban szerencsétlensége, hogy éles elméjével kortársait nagyon is túlhaladta. Megbámulták őt, de nem voltak képesek fontolgatásainak merész röptét mindenüvé követni és így maradtak legfontosabb gondolatai bővében eltemetve és elfelejtve a londoni Királyi Társaság nagy ivrètes könyveiben, míg felfedezéseit egy későbbi nemzedék lassú előhaldásban újból fel nem fedezé és következtetéseinek helyes-sége és bizonyító ereje felől meg nem győződött.

Midőn itten a színeknek általa felállított elméletét taglalom, felkérem az olvasó figyelmét arra, mikép a látérzések lényege iránt később levonandó következtetések teljesen függetlenek attól, mi ezen elméletben föltevényes.

Young Tamás fölveszi, hogy a szemben háromféle nemű idegrost van, melyek közül az egyik rendbeliek, midőn bármí módon ingereltetnek, a vörös színek érzését hozzák létre, míg a második rendbeliek a zöldnek, a harmadik rendbeliek pedig az ibolya színét. Fölveszi továbbá, hogy az első a nagyobb hullámhosszal bíró, világító éterlengések által aránylag legerősebben ingereltetnek, a zölden érzők a közép hosszúságú hullámok által, az ibolya színt érzők pedig a legkisebb hullámhosszbeli fény által. Így tehát a színeképnek vörös végén a vörösen érző rostoknak ingerülete fogna túlnyomó lenni, s épen azért ezen rész vörösnek tetszeni; továbbá a zölden érző idegeknek észrevehető ingerülete fogna ahhoz csatlakozni, és ekképen a sárga színek vegyes érzése támadni. A színeképnek közepén a zölden érző idegeknek ingerülete fogná a többi két rendbeliekét túlnyomni és azért a zöld színek érzése felülkerülni. Ott ellenben, hol emez az ibolyáéval összekeveredik, a kék támad; a színeképnek legtörékenyebb végén az ibolya színek érzése válik túlnyomóvá.*

* A három alapszín színrnyalata tapasztalatilag teljes pontossággal még meg nem állapítható; csak a vörös iránt, a vörösszín va-

Látni való, hogy e felvétel semmi egyéb, mint a fajlagos érzékelhetségek törvényének további részletezése. Épen úgy mint a fény és melegnek érzése közti különbség kimutathatólag csak azon alapszik, valjon a napsugarak a látideg területét vagy a tapérzéki idegeket érintik-e, Young föltevésével is felvételik, hogy a szín-érzésekbeli különbségek csak azon alapulnak, valjon egyik vagy másik féle idegek aránylag erősebben lettek-e bántalmazva. Valamennyi háromnak egy arányú ingerülete a fehér színnek érzését adja.

Vörös-színvak szemeknél a tünemények arra fognának visszavezethetők lenni, hogy az idegeknek egyik neme, a vörösen érzők, ingerületre képtelenek. Minden rendes szem reczegének szélén hiányzanak valószínűleg a vörösen érző rostok vagy legalább csak gyéren vannak jelen.

Igaz ugyan, hogy az embernél úgy mint emlős állatnál mindeddig még minden boneztani alap hiányzik, melyet ezen szín-elmélettel viszonyba lehetne hozni. Másfelől azonban a madaraknál és a hüllőknél Max Schultze nyilvánvalóan ide tartozó alkatot talált fel. Ezen állatok közül soknak szemében található ugyan is a reczegnek pálezikás rétegében több pálezika, melyek a beeső fény felé irányított, mellsőbb végükön vörös olajcseppet tartalmaznak, más pálezikák sárga cseppet, mások pedig semmifélet. Kétségtelen pedig, hogy a vörös cseppel ellátott pálezikákhoz a vörös fény inkább fog magának útát találni, mintsem más színű fény, a sárga és zöld fény ellenben inkább fog a sárga cseppet tartalmazó pálezikákhoz eljuthatni. A kék mindkettő

kokon tett tapasztalások folytán, nem marad kétség, hogy az a színek legvégsőbb vörös színének felel meg. A túlsó végnek alapszíne gyanánt ellenben Young T. az ibolyaszínt választotta, Maxwell a kékert tartja inkább valószínűnek; e felett egyelőre még nem lehet határozni. J. J. Müller úrnak kísérletei folytán (Archiv für Ophthalmologie XV., 2. l. 208) az ibolya szín inkább valószínű. Itten a reczegnek fluorescenciája okoz nehézséget.

által majdnem teljesen ki fog záratni, ellenben annál erősebben fogja az a szintelen csapokat bántani. Így szabad lesz ezen pálczikákban a vörösen érző, a sárgán érző és a kéken érző idegeknek végszerveit nagy valószínűséggel keresni.

Teljesen hasonló föltevénnyt később azután felette alkalmasnak és termékenynek találtam, azon szintoly rejtélyes sajátságok igen egyszerű megfejtésére, melyek a zenészeti hangok észrevezésénél előfordulnak; azon felvételt t. i., hogy a fülnek úgynevezett kagylójában, ott hol az idegrostok egymás mellett szabályosan szétterülve fekszenek és rugalmas kis függelékekkel — a Corti-féle ívekkel — vannak ellátva, melyek szabályosan mint a zongora billentyűi és kalapácsai egymás mellé sorakozva állanak, hogy itt, mondom, minden egyes idegrost azon bizonyos hangmagasságnak észrevezésére van képesítve, mely által rugalmas függeléke legerősebben hozható együttes lengésbe. Nem tehetem, hogy itt a hangérzések különös jellegeire át ne térjek, melyek engemet ilyféle föltevénnyel felállítására indítanak, melynek hasonlósága a Young-féle színelmélettel szembeszökő, s mely a felhangoknak, a lebegéseknek támadását, a csengés árnyalatainak észrevezését az összehangzás és összenemhangzás közti különbséget, a zenészeti hanglejtőnek képződését stb. szintoly egyszerű alapelvre vezeti vissza, mint a minő a Young-féle színelméleté. A fülben azonban sokkal világosabban kifejtett bonczatani alap volt ilyféle feltevénnyre felmutatható; s azóta sikerült is, nem ugyan embernél és gerinces állatnál, melyeknél a fülnek tömkeleges része igen is elrejtve fekszik, hanem tengeri héjanczoknál, ilyféle viszonyt közvetlenül kimutatni. Ezek ugyan is hallásszervükön el vannak látva külső függelékekkel, melyeket sértetlen állaton meg lehet figyelni, izületes szőresékekkel, melyekhez a hallidegnek rostai járulnak és itten győződött meg Hensen ur Kielben, hogy egyes szőresék bi-

zonyos hangok által valóban leugésbe hozattak, míg mások más hangok által.

Még egy más nehézséget, mely Young színelméletével ellentétben áll, kell elhárítanunk. Fentebb említém, hogy a színrendszernek a szintáblán térszerintes feltüntetésénél, a táblának bekerítő vonala, mely a legteltebb színeket, t. i. a színeképbelieket foglalja magában, a háromszöget közelíti meg. A három alapszínnek elméletére vonatkozó következtetéseink azonban azon alapszanak, hogy egyenes vonalú háromszög a színek teljes rendszerét zárja magába, mert csak akkor lehet valamennyit a háromszögnek szögletein álló három alapszínből összekegyíteni. De jól ügyeljünk! a színekép magában foglalja valamennyi a külvilágban előforduló színt, az említett elméletnél pedig a kérdés az érzések összetétele körül forog.

Elégéses, ha felteszszük, miszerint a különféle tárgyiagos színes fény még nem kelti a tökéletesen tiszta fény-érzéseket, hogy tehát egyszerű vörös fény, még akkor is, ha minden fehér fénytől teljesen külön van választva, nem ingerli egyedül a vörösén érző rostokat, hanem, habár gyengén, szintúgy a zölden érzőket és talán még gyengébben az ibolya színt érzőket is. Ennélfogva azon érzés, melyet a szemben a legtisztább vörös fény előidéz, nem fogna még a legtisztább vörös színnek érzése lenni; ez utóbbinak még teltebb vörös színt kellene képviselnie, mint a minőt a külvilágnak bár mely színén szemlélhetünk.

Ezen következtetés bebizonyítható; az ily teltebb vörös színnek érzése előidézhető. E tény, mint könnyen felfogható, a legnagyobb fontossággal bír, nem csak mert a Young elmélete ellenében lehetséges ellenvetés elhárítására szolgál, hanem a színérzések jelentőségére nézve is általában. Hogy az eljárást leirhassam, kénytelen vagyok a tünetmények egy új sorára áttérni.

Minden idegkészülék kifárad, ha működésben tartatik, annál inkább, mentől élénkebb ez utóbbi és mentől tovább

tart. Ellenben az üterekben áramló világos vörös vér is szakadatlanul tevékeny az elhasznált anyagot újjal pótolni és a tevékenység folytán támadt változásokat, azaz a kifáradást eltávolítani. Ugyanaz történik a szemben. Ha az egész reczeg teljes kiterjedésében kifárad — például midőn a szabadban egy ideig verőfényes napvilágon tartózkodunk — akkor az gyengébb fény iránt általában érzéktelenné válik. Ha közvetlenül azután sötét, gyengén megvilágított helyre lépünk be, úgy kezdetben mit sem látunk; az előzetes világosság folytán, mint mondani szoktuk, megvakitva vagyunk. Bizonyos idő múlva szemünk megpihen és végre képesek vagyunk ugyanazon gyenge megvilágítás mellett, mely kezdetben nekünk végleges sötétségnek tetszett, látni, sötét olvasni.

Ekképen nyilatkozik általában a reczegnek kifáradása; de a reczeg egyes részeinek kifáradása is lehetséges, hogy ha valamely egyes helye hosszabb időn át erősebb fénynek volt kitéve. Ha valamely sötét háttértől környezett világos tárgyra hosszabb ideig szegezzük szemeinket, midőn mozdulatlanul rögzítve nézünk egy pontra, — ez ugyanis szükséges, hogy a reczegen a világos kép nyugton megálljon és felületének élesen határolt részét kifárasztza, — azután pedig egyenletesen sötétszürke tér felé nézünk, akkor ezen az előbb látott tárgynak utóképet látjuk meg, ugyanazon körvonalokkal lerajzolva, megvilágításában azonban ellentétesen, a sötétet világosan, a világost sötéten képmásolva, hasonlóan mint a fényképészeti nemleges képeknél. Ovatos rögzítés mellett lehetséges igen finoman rajzolt utóképeket létrehozni, melyeken bizonyos körülmények közt még betűket is lehet olvasni. Itten az utókép helybeli kifáradás folytán támad; a reczegnek azon részei, melyek előbb világosságot láttak, most a szürke alapnak fényét gyengébben érzik meg, mint ki nem fáradt szomszédjai; a meddig tehát a reczeg előbb a fénynek kitéve volt, odáig mutatkozik most sötét folt a valóságban egyenletes alapon.

Megjegyzem még, hogy jól megvilágított fehér papirlapok utóképek előállítására elégségesen világos tárgyakul szolgálnak; ha sokkal világosabb tárgyakra, lángokra, vagy épen a napra nézünk, akkor kezdetben még az azonnal el nem tűnő ingerület, mely tevőleges utóképet idéz elő, összekeveredik a kifáradásnak hatásával, a nemleges utóképpel; azonkívül még a fehér fénynek különböző színei különböző hosszán és különböző erősen hatnak. Ennek következtében az utóképek színesekké, a tünetmények általában sokkal bonyolódottabbakká válnak.

Az utóképek segítségével könnyen meg lehet győződni, hogy a világos felületnek benyomása már az első másodpercektől fogva apadni kezd, s többnyire már egy percz mulva erejének felére vagy egynegyedére leszáll. E célra a kísérletnek legegyszerűbb alakja abban áll, hogy fehér lapot fekete papírral félig elfedünk, a fehér lapnak valamely pontját a feketének széle közelében szilárdan rögzítve nézzük, és 30 egészen 60 másodpercz mulva a fekete lapot sebesen félre toljuk, a nélkül hogy szemünket elfordítanók. Rögtön bekövetkezik ekkor a feketének helyén a fehérnek benyomása, fényes kezdeti élénkségében, és most felismerhető, minő magas fokban tompult el és gyengült a régibb benyomás, a rövid idő daczára, mely alatt a fehér papir behatott. S még is, jól megjegyzendő, a néző a látszólagos világosságnak ilyenén erős fogyatkozása felől mit sem vett észre, mi alatt a fehér papírt nézte.

Végre helybeli kifáradás még más tekintetben is lehetséges, ú. m. kifáradás egyes színek iránt, hogy ha tudniillik vagy az egész reczeget, vagy annak egyes helyét bizonyos időn át (azaz fél egészen öt perczig) egy ugyanazon szín általi megvilágításnak kiteszszük. Young elmélete szerint ekkor természetesen a fényérző idegeknek csak egy vagy két neme fárad ki, az, mely az illető színt erősen megérzi. A nem ingerlett többi ideg kifáradatlan marad. Az eredmény az, hogy midőn például szürke alapon a vörös szín-

nek utóképét szemléljük, ezen alapnak egyenletesen vegyes fénye a vörös szín irányában kifáradt reczeg helyén csak még a zöld és ibolya színnek érzéseit képes keltetni. A vörös szín által kifárasztott hely mintegy mulékony vörös színvakságba esett. Utóképe tehát a vörös színhez képest kiegészítőleg szinezve, kékes-zölden mutatkozik.

S ebben épen módot nyújtva találunk, reczegünkben a színeknek eredeti tiszta telt érzését előidézni. Ha például a tiszta vörös színt kívánjuk látni, akkor a színeképnek kékes-zöld színe által, mely a vörösnek kiegészítő színe, reczegünknek egy részét kifárasztjuk. Ez által reczegünknek e részét egyidejűleg zöld és ibolya színvakká teszszük. Ezután az utóképet a hasáb színeképének lehetőleg tiszta vörös színe helyére vetjük. Akkor az eleven telt vörös színben mutatkozik, környezetében pedig a színeképi vörös szín, jóllehet hogy az a legtisztább vörös szín, mit a külvilág felmutathat, a ki nem fáradt reczegnek most kevésbbé teltnek látszik, mint a vörös szín a reczegebeli képben, és mintegy fehéres ködbe borítva.

Erjük be a felhordott tényekkel; nem akarok további részleteket felhalmozni, mert nem kerülhetném akkor ki sok egyes kísérletnek hosszadalmas leírását.

Szemközt ezen tényekkel lehetséges-e, hogy még fenntartsuk azon egyébként igen természetes benső feltevést, miszerint érzéseink, különösen pedig látérzéki érzéseinknek minőlegessége, a külső tárgyak felelkező minőlegességének hű képmása? Nyilvánvaló, hogy nem. A legfőbb döntő ok adva van már a fajlagos érzéktehetségeknek J. Müller által a tényviszonyokból levezetett törvényében. Valjon a napsugarak nekünk fény vagy meleg gyanánt jelenkeznek-e, az épen nem függ saját belső mivoltuktól, hanem attól, a mint azok látelegrostokat vagy bőridegrostokat ingerelnek. Nyomás a szemtekére, gyenge villamos áram azon keresztül, valamely a vérben elterjedt bódítószert, szintűgy fényként éreztetnek mint a napsugarak. A legbehatóbb

különbség, melyet a különféle érzések felmutatnak, t. i. a különbség a látás-, hallás-, izlés-, szaglás- és tapintásbeli érzések közt, ezen annyira mélyen beható különbség, mely eszközli, hogy a szín- és hangérzések egymás közt még csak hasonlósági vagy nem hasonlósági viszonyban sem állanak, mint látjuk, épen nem függ a külső tárgynak természetétől, hanem egyedül csak az érintett idegnek központi összeköttetésétől. Ehhez képest alárendeltnek tűnik fel azon kérdés, vajon minden egyes érzék minőlegességeinek körén belül feltalálható-e még az összeegyeztetés a tárgyiasság és az alanyiasság közt. Minő színben látjuk meg az éterhullámok menetét, midőn azok a látideg által megéreztetnek, az minden esetre függ hullámhosszaik értékeitől. A természetes módon látható színeknek rendszere a különféle nemű fényelegyek közti különbségeknak még egész sorát ismerteti meg. Mindazáltal ezen különbségek száma rendkívülüképen összevont, végtelen nagy számtól kezdve, le háromig. Minthogy a szemnek legfontosabb képessége finom ürkülönböztetésében fekszik és e czélhoz képest annyira finomabban van szervezve mint a fül, úgy igen is beérhetjük azzal, hogy a szem még egyáltalában bírja a fénynek néhány, bárha aránylag kevés minőleges különbségeit észrevenni. A fül ellenben, mely ez utóbbi tekintetben oly rendkívülüképen dúsabban van felszerelve, majdnem teljesen nélkülözi az ürkülönböztetést. De valóban bámulnunk kell, mindaddig tudniillik, míg a természetes, érzékeiben feltétlenül bízó embernek álláspontján maradunk, a felett, hogy sem a határok, melyek közt a szinkép szemünkre behat, sem a szinkülönbségek, melyek az érzésben, mint a féynemek tárgyilagossági különbségeinek egyszerűsített kifejezései, megmaradtak, bármely más kimutatható jelentőséggel nem bírnak, mint épen egyedül a látásra nézve. Egyenlőnek látszó fény minden többi ismert természet- és vegytani viszonyai szerint teljesen különböző lehet.

Vége azt találjuk, hogy érzéseinknek tiszta, egyszerű elemei, a tiszta alapszínek érzései, a szemnek természetes, ki nem fáradt állapotában, mesterséges előkészítés nélkül, semminemű külső fény által elő nem idézhetők, hogy azok egyáltalában csak mint alanyi tűnemények léteznek.

A külső fénynek és az érzésnek minőlegessége közti összeegyeztésből e szerint csak az marad fenn, mi talán közvetlenül ugyan eléggé csekélynek tetszhetik, tetteleg azonban számtalan sok hasznos alkalmazásra teljesen elégséges, t. i. hogy egyenlő fény egyenlő körülmények közt egyenlő színérzést kelt. Oly fény pedig, mely egyenlő körülmények közt egyenlőtlen színérzést kelt, nem egyenlő.

Ha két viszony ilyképen egymással felelkező, akkor az egyik a másikához képest jel. Hogy eddig az észrevevésről szóló tanban a jelnek és a képnek fogalma nem elég gondosan lett különválasztva, az nézetem szerint számtalan tévedések és hibás elméletek okául szolgált.

A képben a képmásnak hasonneműnek kell lenni a lemásolttal, s csak a mennyiben azok egyneműek, kép a képmás. Valamely szobor annyiban képe valamely embernek, a mennyiben az utóbbinak testidomát saját testidoma által utánozza. Még ha az kisebbített mérték szerint készült is, az űrbeli nagyság mindig űrnagyság által van feltüntetve.

Valamely festmény az eredetinek képe, részint mert ennek színeit hasonló színekkel, részint mert az utóbbinak űrbeli viszonyait részben, t. i. távlati vetülete szerint, megfelelő űrviszonyokban utánozza.

Az idegingertületek agyunkban és a képzelmekek öntudatunkban a külvilági eseményeknek képei lehetnek, a mennyiben amazok időrendjükből utánozzák az utóbbiaknak időrendjét, s a mennyiben a tárgyak egyenlőségét a jelek egyenlősége által, tehát a szabályos rendet szabályos rend által tüntetik fel. Nyilvánvaló, hogy ez

értelmünknek feladataihoz elégséges, mely hivatva van a világnak tarka változatosságából az állandót kiszemelni és fogalom vagy törvényképen egybefoglalni. Hogy az valamennyi gyakorlati célra is elégséges, azt jelentésünk harmadik szakasza fogja tanítani.

De félreismerhetlen, hogy nem csak miveletlen személyek, kik érzékeikbe vakon szottak bizni, hanem még a mivelték is, kik tudják, hogy érzécsalódások fordulnak elő, hajlandók azon megütközni, hogy az érzések és a tárgyak minőlegességei közt a szorosabb megegyezés teljesen hiányzik. Hiszen még magok a természetbuvárok is sokáig késlekedtek, és tettek és kimerítettek minden lehetséges ellenvetést, mielőtt a fény és meleg sugaraknak azonosságát megengedték, melyeknek lényeges különbsége a fény és melegnek érzésében nyilvánulni látszott. Sőt Goethe maga, mint más helyen kimutatni törekedtem, leginkább azért került ellenmondásba Newton szintánával, mert nem birta képzelni, hogy a fehér szín, mely az érzésben a legvilágosabb fénynek legtisztább kifejezéseként mutatkozik, a sötétebb színes fényből legyen összeállítva. Ama Newton által felfedezett tény volt az érzéktehetségek felőli újabb tannak első csirája; valamint a lényeges tételek is az érzékileg felfogható minőlegességek jelentőségéről tökéletesen helyesen vannak kortársánál John Locke-nél előadva. De bár mily élénken kiérezhető is, hogy ebben fekszik sok emberre nézve a botránykö, még sem találom sehol az ellenfél véleményét világosan kifejtve és oly tisztán kimondva, hogy az abbeli tévedés határozottan kitapintható volna. Ennek oka, nézetem szerint, abban fekszik, hogy alatta még mélyebb fogalombeli ellentétek rejtőznek el.

Csak ne engedjük magunkat elesábittatni, hogy a jelenség és a látszatnak fogalmait összetéveszszük. A testi színek bizonyos, a testek mivoltában levő tárgyilagos különbségeknek jelenségei; épen azért természettudományi tekintetben sem képeznek puszta látszatot, habár a mód, mely szerint jelenkeznek, főleg idegkészülékünk mi-

voltától függ. Csálékony látszat csak ott lép fel, hol valamely tárgynak rendes jelenkezési módja valamely máséval felcseréltetik. A színlátásnál azonban ez semmiképen nem áll be, nincsen semmiféle más jelenkezési módja, melyet mi szemközt a szembelivel rendesnek nevezhetnénk.

Úgy látszik nekem, hogy itt a fő nehézség a tulajdonság fogalmában fekszik. Minden akadály el van hárítva, mihelyt megértjük, hogy általában valamely tárgynak bármely tulajdonsága vagy minősége valósággal nem egyéb, mint annak képessége, más tárgyakra bizonyos hatásokat gyakorolni. A hatás végbe megyen vagy ugyanazon testnek egynemű részecskéi közt, mitől a halmazállapotok különbségei függenek, vagy mint a vegyészvi visszahatások, egyik testről egy másikára megy az át, vagy végbe megyen az érzéki szervcinkben, és érzésképen — mint a minőkkel itten foglalkozunk — nyilvánul. Ily hatást nevezünk tulajdonságnak, midőn a kémlelőszert, melyen amaz nyilvánul, mintegy meg nem nevezve, azt, a mi magától érthető, alattomban értjük. Így szölnük valamely anyagnak oldékonyságáról, azaz annak viseletéről a viz iránt; szölnük annak súlyáról, azaz annak vonzódásáról a föld felé; és szintűgy egyenlőjoggal nevezük azt kéknek, mert felteszszük, hogy önmagától értetődik, miszerint csak azon hatás jelölendő ki, melyet az a rendes szemre gyakorol.

Ámde ha az, mit tulajdonságnak nevezünk, mindig két tárgy köztvi viszonylatra vonatkozik, úgy természetesen az olyféle hatás soha sem függhet az egymásra behatók csak egyikének természetétől, hanem egyáltalában csak a viszonylatban azon másikhöz áll fenn, melyre a hatás gyakoroltatik és függ annak természetétől. Nincs tehát semmi valódi értelme annak, ha a fénynek oly tulajdonságairól akarunk szölni, melyek neki egymagában és függetlenül minden többi tárgytól sajátjai lennének, és melyek a szem érzésében újból találhatnák kifejezésüket. Ilyféle tulajdonságok fogalma önmagával áll ellentétben, s ilyfélek általában semmikép nem létezhetnek;

ennélfogva nem is követelhetjük, hogy a színérzések a fénynek ilyféle minőségeivel megegyezzenek.

Természetes, hogy ilyenén fontolgatások a gondolkodók agyában már régóta feltolultak; találjuk azokat Locke és Herbart által kimondva, egy értelemben állanak azok Kanttal. De azoknak megértésére és belátására cleinte talán nagyobb elvonó tehetség volt szükséges, míg azok most az előterjesztett tények által a legszemléltetőbben megvilágíttatnak.

Ezen, az elvontnak országába tett kitérésünktől visszatérünk még egyszer a színek tarka díszéhez, hogy azokat bizonyos külső, akár a fényre, akár az azt visszaverő testekre vonatkozó minőlegességek érzéki jeleiként megvizsgáljuk. A jó jelnek lényeges kelléke, állandósága, hogy ugyanazon tárgy mindig ugyanazon jellel együtt járjon. Ámde láttuk már, hogy a színérzések e tekintetben is némi kívánni valót hagynak hátra. Azok a reczeg kiterjedésében nem teljesen egyenletesek. Itt azonban tekintetünk örökös mozgása épen úgy átsegít az akadályon, mint teszi azt a reczeképnek egyenlőtlen élességére nézve. Az észlelésnek ezen különös módja által a szervnek ezen hibáját is kiegyenlítjük.

Láttuk azután, hogy a szemnek kifáradása folytán az ingertület ereje gyorsan igen jelentékeny változásokat szenvedhet. Itt is a tekintet folytonos mozgása arra segít, hogy a kifáradás rendesen a reczeg egész kiterjedésében egyenlő, és hogy körülírt utóképek ritkán képződhetnek; legfeljebb csak igen fényes tárgyak után, minők a napkorong vagy az igen fényes lángok.

De az egész reczegnek egyenletes kifáradásánál nagyobbára legalább változatlanul marad az előttünk lévő különféle tárgyaknak világossága és színe közti viszonylagos arány és a kifáradás csak akképen hat, mintha a világítás lassanként gyengülne.

Ez pedig minket azon látképeinkbeli különbségekre vezet, melyek az előttünk fekvő tárgyaknak megvilágításától függnének.

Itt ismét tanulságos tényekre akadunk. A külvilági tárgyakat a legkülönbözőbb fényfokok szerint megvilágítva látjuk, kezdve a legvakítóbb napfénytől le a holdvilágig, — amaz 150,000-szer fénydúsabb mint a teljes hold világa. A megvilágításnak színe is jelentékenyen változhatik, vagy az által hogy mesterséges megvilágítást alkalmazunk lángok segítségével, melyek mindig többé kevésbé vörös sárga fényt árasztanak, vagy az által, hogy lombfödélzet zöldes árnyéka alatt vagy erősen színezett szőnyegekkel és ablakfüggönyökkel diszitett szobában tartózkodunk. A megvilágításnak fényfoka és színe szerint változik természetesen azon fény mennyiségnek fényfoka és színe is, melyet a megvilágított testek szemünkbe vetnek. Minden különbség a testszínezetben ugyan is azon alapszik, hogy a különféle testek a napnak különféle egyszerű kisugárzásaiból különbözően nagy részleteket részint visszavernek, részint elnyelnek. A czinóber visszaveti a hosszú hullámsugarakat, a nélkül hogy azokat jelentékenyen gyengítené, ellenben valamennyi többi sugárból csak igen keveset. Miért is vörös színben, t. i. azon sugaraknak színében jelentkezik, miket egyedül vissza vet és a szembe juttat. Ha azt más színű fényvel világítjuk meg, mely vöröset nem tartalmaz, akkor majdnem feketének tetszik.

Így tehát könnyen kitetszik, valamint a mindennapi tapasztalás is százszoros változatokban azt tanúsítja, hogy a megvilágított testeknek látszólagos fényfoka és színe a megvilágításnak fényfoka és színe szerint változik. Ez a festészekre nézve egyik főtanulmányi tárgy; ezen alapszik legszebb sikereiknek nagy része.

A mi azonban a látásnál minket főleg érdekel, az, felismerni és újból felismerni a minket környező testeket; csak ritkán, legfőlebb széptani vagy természettani tekintetből fordítjuk egyszer másszor figyelmünket a megvilágításra is. De a mi valamely test színében állandó, az nem az általa szemünkbe bocsátott fénynek világossága és színe, hanem az arány ezen fény különböző egyszerű alkatrészeinek erőfokozatai

és a megvilágítás felelkező alkatrészeinek erőfokozatai közt. Csak ez az arányviszony képezi a test egyik állandó tulajdonságának kifejezését.

Ha ezt elméletileg megfontoljuk, úgy látszhatnék, mintha a feladat, valamely testnek színét változó megvilágításnál megítélni, szerfölött nehéz volna. De ha a gyakorlatban körültekintünk, úgy csakhamar azt találjuk, hogy képesek vagyunk a testek színeit a legnagyobb biztosággal, és még meggondolásra sem szorulva, a legkülönbözőbb körülmények közt helyesen megítélni. Fehér papir teljes holdvilágnál sötétebb, mint fekete bársony napvilágnál; de még sem késünk soha sem elismerni, hogy a papir fehér, a bársony fekete. Sőt sokkal nehezebben esik nekünk, azt felismerni, hogy valamely szürke, verőfényes naptól süttött test teljesen ugyanazon színű, sőt talán ugyanazon fokú fényt vet vissza, miként valamely beárnyékolt fehér test, mint sem azt felismerni, hogy valamely beárnyékolt fehér papirnak testi színezete ugyan az, mint valamely mellette fekvő ugyanazon nemű, naptól süttött testé. A szürke a fehértől teljességgel fajlagosan különbözőnek tetszik; mint testi színezet valóban is az, mert oly testnek, mely a fénynek csak felét veti vissza, másféle minémiségű felülettel kell birnia, mint olyannak, mely az egészet veti vissza. S még is lehetséges, hogy a megvilágított szürkének benyomása reczegtünkre véglegesen azonos a beárnyékolt fehérével. Minden festész a beárnyékolt fehér szint szürke színnel tünteti fel; s ha azt teljesen természet-hiven utánozza, akkor mindamellet a leábrázolt tárgy tiszta fehérén tűnik fel. Ha érzékileg akarunk meggyőződni a szürke és fehér fény színének egyenlősége felől, úgy az csak az által lehetséges, hogy netalán gyűjtő lencsével erős fényt pontosítunk össze valamely szürke korongra, úgy hogy az erősebb megvilágításnak határai teljesen összeesnek a szürke körnek határaival, és a mesterséges megvilágításnak jelenléte a közvetlen érzéki benyomásban sehol magát el nem árulja. Akkor a szürke valóban fehérnek tetszik.

Felvehetjük — s e felvételünk bizonyos ellentétességi tünetmények által igazoltatik — hogy a jelenlévő legvilágosabb fehérnek megvilágítása nekünk mértékül szolgál az azt körül álló sötétebb testek megítélésénél, minthogy közönséges körülmények közt gyengített világításnál vagy a reczegnek növekedett kifáradásánál valamennyi testi színek fényereje egyenlő mértékben szokott csökkenni.

A megvilágításnak legszélsőbb fokozatainál érvényes ugyan ez utóbbi még mindig a tárgyilagos fénynek erejére nézve, azonban már nem az érzésre nézve. Igen rikitó, már közel vakító megvilágításnál a világos felületeknek fényfokozati különbségei az érzésre nézve mindinkább eltörölődnek; igen gyenge félynél pedig a legsötétebb tárgyak fényfokozati különbségei válnak megkülönböztethetlenné. Így közelednek a közép fényességű testi színek napvilágnál inkább a legfényesebbekhez, holdvilágnál inkább a legsötétebbekhez. E különbséget használják fel a festészek, hogy festményeiken, melyek valamennyien rendszerint, egyenletesen világos nappali fényenél szoktak szemléltetni és a középszerű világosságnak azon nagy különbségeit távol sem engedik meg, melyek a napvilág és holdvilág közt fekszenek, még is mindkettőt előtűntessék. Hogy a napfényt fejezzék ki, még a középvilágos testeket is majdnem teljesen világosaknak, a holdvilágnál pedig ez utóbbiakat is majdnem teljesen sötéteknek festik. Ehhez járul még egy másik körülmény, mely szintén az érzési módban fekszik. A különféle színek fényerejének egyenletes fokozódásakor ugyanis a vörös és sárga színek benyomása jobban növekszik, mint a kék színé. Ha vörös és kék papírt választunk ki, melyek közép nappali félynél körülbelül egyenlő világosoknak tetszenek, úgy verőfényes napvilágnál a vörös, holdvilágnál vagy csillagfélynél a kék tetszik sokkal világosabbnak. A szinképi színek ugyanazon tünetényt mutatják. A festészek ezt is felhasználják, a mennyiben a napos tájképeknek túlnyomólag

sárga, a holdvilágosoknak túlnyomóan kékes színárnyalatot kölcsönöznek.

Ezen eljárásból különösen tisztán kitetszik, mennyire tettük magunkat függetlenekké a testi színek feletti ítéletünkben a megvilágításnak végleges nagyságától. Szintügy majdnem teljesen felszabadítjuk magunkat azon befolyás alól, melyet az uralkodó világításnak színe gyakorol. Némileg tudjuk ugyan, hogy a nappali fénynyel összehasonlítva a gyertyavilág vörös-sárga; de hogy színe mennyire különböző a napfénytől, azt mégis szemléltethetbben csak akkor tapasztaljuk, ha mindkét világítást egyenlő erőben közvetlenül egymás mellé tartjuk, például a kísérletnél színes árnyékokkal. Ha sötét szobába szűk nyíláson át a szürke felhős égnek világát, vagyis a gyengített fehér nappali fényt (vagy a holdvilágot) engedjük az egyik oldal felől fekkentes fehér papírra esni, a másik oldal felől pedig a gyertyavilágot, és a papírra merőlegesen pálczát állítunk fel, úgy ez két árnyékot vet, egyet melyet a nappali fény meg nem világít, de igen is a gyertyavilág, ez vörös-sárga, és úgy is néz ki. A második árnyékot megvilágítja a nappali fény, de nem a gyertyavilág; ez fehér és ellentétből kéknek tetszik. A két árnyékunk ezen kék és amaz vörös-sárga színe azon két szín, melyet fehéreknek nevezünk, az egyikét nappali világításnál, a másikat gyertyavilágításnál. Egymás mellé állítva, mint két igen különböző és meglehetősen telt színek jelenkeznek. S mégis pillanatig sem késünk gyertyavilágításnál a fehér papírt fehérnek elismerni és azt az arany-sárgától megkülönböztetni.

A tünemények ezen sorában az legnevezetesebb, hogy valamely átlátszó színes takarónak színét a megette fekvő tárgyakétól külön választjuk, mint ez az érdekes ellentétességi tünemények egész soránál történik. Sőt midőn zöld fátyolon keresztül nézünk, még az is megtörténhetik, hogy fehér tárgyak, melyeknek fénye bizonyára a fátyolnak zöld fényével vegyült, tehát minden esetre zöldes, épen ellen-

kezőleg vöröseknek tetszenek, minthogy rajtok a zöldnek vörös utóképe mutatkozik. Ennyire választjuk el teljesen a fényt, mely a takaróhoz tartozik, a takarón át látott tárgytól*.

A két utóbbi kísérletnél előforduló színelváltozásokat — ellentétességi tűneményeknek (kontraszt tűneményeknek) nevezik; azok többnyire oly csalódások a tárgyaknak testi színe iránt, melyek nem eléggé kifejtett utóképeken alapszanak; ez az úgynevezett bekövetkező ellentét (successiver Contrast), mely pillantásunk színes tárgyak feletti vándorlásakor áll be. Részben azonban az ellentétességi tűnemények azon is alapszanak, hogy szokásunk, melylyel a testi színt az egyidejűleg látott különböző tárgyaknak fényfoka és színe közti viszonylagos arány szerint ítéljük meg, minket tévútra vezet, hogy ha azon viszonyok a közönségesektől eltérnek, például ha két világítás vagy átlátszó színes takarók vannak jelen vagy jelen lenni látszanak, hol nincsenek; ez utóbbi esetek az egyidejű ellentétek (simultane Contraste). Például a kísérletnél színes árnyékokkal, a kettősen megvilágított alap, mely az egyidejűleg látott tárgyak közt a legfényesebb, hamis mértéket szolgáltat nekünk a fehérre nézve. Vele összehasonlítva az egyik árnyékúak valódi, de kevésbé világos fehér színe kéknek tetszik. Azonkívül ezen ellentétességeknél azon körülmény is közre hat, hogy az érzésben tisztán észrevehető különbségek nagyobbaknak tetszenek, mint a kevésbé tisztán észrevehetőek. Már pedig a szem előtt fekvő színkülönbségek tisztán észrevehetőek az emlékezetben lévőkhöz képest, továbbá azok, melyek a láttérnek legszomszédosabb helyei közt vannak, a távolabbiakhoz képest stb. Mind ennek befolyása van. Jókora sok különféle körülmény jön itt tekintetbe,

* Ide tartozó kísérleteknek egész sora leírva található munkámban: „Handbuch der Physiologischen Optik“. 398 egészen 400 l.; 401 egészen 411. l.

melyeknek egyes esetek szerinti nyomozása igen érdekes világot vet az indokokra, melyek szerint a testi színeket megítéljük, oly fejezet ez azonban, melyet itten közelebb nem taglalhatunk. Egyébiránt épen oly érdekes az a festészet elméletére is, mint az élettanra nézve, minthogy a festészek a természetes ellentétességi tüneményeket fokozott utánnzással gyakran alkalmazzák, hogy nagyobb fénykülönbségeket és teltebb színeket tüntessenek a szemlélőnek fel, mint sem képesek festékeikkel valósággal létrehozni.

Ezzel befejezzük a látérzések tanát. Vizsgálatunk ezen szakasza tehát kimutatta, hogy a látérzésekbeli minőleges-ségek nem egyebek jeleknél, részint a fénynek, részint a megvilágított testeknek bizonyos minőleges különbségeire nézve, a nélkül azonban, hogy teljesen felelkező tárgyilagossá jelentőségük volna; sőt még hogy a jelrendszernek azon egyetlen lényeges kellékét, t. i. az állandóságot is csak igen lényeges megszorítás és hiányok mellett bírják; miért is fentebb róluk dicséretképen csak annyit mondhattunk, hogy azok egyébként egyenlő körülmények között egyenlő tárgyak szerint egyenlőképen mutatkoznak. Mind ennek daczára végre még is azt találjuk, hogy ezen eléggé változó jelrendszer segítségével lényeges részét abbéli feladatunknak, hogy t. i. egy azon testi színeket állandó mód szerint mindentől újból felismerjük, képesek vagyunk jól, sőt tekintettel az ellenszegülő nehézségekre, feltűnően jól megoldani. A fény és színeknek ezen ingatag, s pedig a megvilágításra nézve ingatag, a szervnek változékony kifáradására nézve ingatag, a reczegen érintett helyre nézve ingatag rendszeréből képesek vagyunk azt, mi egyedül szilárd benne, a testi szint, mely a testi felület egyik változatlanul fennmaradó minőségének felel meg, kifejtteni, nem hosszadalmas meggondolással, hanem a pillanatban önkénytelen felszökkenő nyilvánossággal.

Mindazon szabálytalanságok és tökéletlenségek, melyeket az optikai készüléken és a reczegképen feltaláltunk, épen-

séggel csekélyeknek tetszenek azon egyezötlenések mellett, melyekre itten az érzések terén akadunk. Majdnem azt lehetne hinni, hogy a természet szándékosan kedvét találta a legmerészebb ellentétekben és törekedett minden, a külső és belső világ közt eleve megállapított összhangzat feletti ábrándozásnak végképen útját szegni.

De hányadán állunk feladatunknak megoldásával, a látás értelmezésével? Úgy hihetné egynémely, hogy távolabb állunk tőle mint valaha; hogy a rejtély csak még bonyolultabb, a remény azt megfejteni csak még kisebb lett. Talán hajlandónak érzi magát gáncsolni a tudományt, mely terméketlen birálattal a szépséges érzéki világot szétrombolni tudja, hogy dirib-darabjait a semmiségbe átvesse; és elhatározza magát emberi ép eszére támaszkodni és többet hinni érzékeinek, mint az életbuvárnak.

Azonban hátra van még vizsgálódásunknak azon része, mely az ürszerinti szemlélődésekkel foglalkozik. Lássuk, nem fog-e itt végre még igazoltatni a tudomány által is a természetes bizalom annak helyessége iránt, mit az érzékek nekünk tanusítanak.

III.

A LÁTÉRZÉKI FELISMERÉSEK.

A színek, melyeknek jelentőségével az előbbi szakaszban foglalkoztunk, ékszerek, melyeket nem örömetst fognánk nélkülözni; egyszersmind eszközök is, melyek a látásbeli tárgyak megkülönböztetését és újbóli felismerését könnyítik; mindazáltal fontosságuk nagyon is háttérbe szoríttatik a térszerinti viszonyoknak gyors és kiterjedt megkülönböztetése által, mire szemünk minket képesít. E tekintetben semmi más érzék a szemmel nem mérkőzhetik. A tapérzék ugyan szintén megkülönböztet térviszonyokat, és a szem felett azon előnnyel bír, hogy azon anyagi valamit, melyet elérhet, biztosabban fogja fel, mert egyszersmind ellenszegülést, tömeget és súlyt vizsgál meg. De hatóköre korlátozott, és a kis távoloknak megkülönböztetése koránt sem oly finom, mint a melyet a látás eszközöl. S még is, mint a született vakok példája tanúsítja, befejezett térszemléletek kifejtésére a tapérzék is elégséges. E végett a szemre nem szorul. Sőt még meg fogunk győződhetni, hogy a szembeli térszemléleteket, hol csak lehet, a tapérzékbeliékkal folytonosan ellenőrizzük és helyreigazítjuk, mi mellett az utóbbiaknak állítmányait mindig döntőknek ismerjük el. Mindkét érzék, mely ugyanazon feladaton, habár felette különböző tehet-

séggel felruházva, munkálódik, igen kedvező viszony szerint egymást kiegészíti. Míg a tapérzék, bár korlátozott látköréhez képest biztos kezességet nyújt, addig a szem merész röptében a képzelettel versenyezve, határtalan távolokba előnyomul.

Ezen összeköttetés nagy fontossággal bír az előttünk fekvő feladatra nézve. Minthogy ugyan is itten csak a látérzékkel van dolgunk, és a tapérzék a térszemlélés teljes létrehozására elégséges, úgy ez utóbbit egyelőre mint általános vonásaiban már készen adottat tekinthetjük, és arra szorítkozhatunk, hogy megvizsgáljuk, honnan ered a látérzéki és tapérzéki térszemlélet közti megegyezés. Azon kérdést, hogy az adott érzéki felfogás mellett hogyan jutunk el a térszemléléshez, csak majd legutoljára taglalandjuk.

Legelőbb is, ha végig tekintünk a mindenki előtt ismeretes tényeken, szembeszökő, hogy az érzéseknek szétosztása helybelileg külön választott idegkészülékek közt, szükségképen még nem idézheti elő azon képzelmet, miszerint ez érzések helybelileg különválasztott okokból származnak. Képesek vagyunk például valamely szobában fényt, meleget, valamely zeneműszernek különböző hangjait és talán még valamely szagot is megérezni és megismerni, hogy mindezen hatányok egyidejűleg és úrszerint egymástól külön nem választva a szobának levegőjében általánosan elterjedve jelen vannak. Valamely vegyes szín után, mely reczegünkön lemásoltatik, három különböző, egymástól külön nem választott elemi érzés támad, valószínűleg különböző idegekben. Megpendült húrnál vagy emberi szóhangnál egyidejűleg különböző hangokat, u. m. egy alaphangot és az összhangzó felhangoknak sorát halljuk, melyeket, szintén hely szerint azokat egymástól külön nem választva, valószínűleg különböző idegekkel éreztünk meg. Sokféle anyagnál midőn azt élvezzük, a nyelv különböző helyein különféleképen izleltünk és egyidejűleg szagoljuk is az éték illó részeit, mialatt az a garaton áthalad, és mégis mindezen különböző idegek által felfogott

érzések közönségesen külön nem választva, az élvezett anyag ízének egyetlen összérzetében egyesítve maradnak.

Igaz ugyan, hogy némi figyelem mellett képesek vagyunk testünknek azon helyeit felismerni, melyeken át ezen érzések behatolnak, azonban jóllehet, hogy ezek különbözők, még sem következik ebből, hogy azért a tárgyat, mely az érzést kelti, tér szerint külön választva kellene gondolnunk.

A látás terén hasonló tényre akadunk, ugyanis arra, hogy két szemünkkel ugyanazon tárgyat egyszerűen látjuk, a két különválasztott idegkészülékbeli érzés daczára. S ez, miként itt látjuk, egy sokkal általánosabb törvénynek egyes példája.

Ha tehát azt találjuk, hogy a reczegen a láttérbeli tárgyaknak lapszerűen kiterült optikai képe jön létre, és e képnek részei különböző idegrostokat ingerelnek, úgy az még nem elégséges bizonyíték arra nézve, hogy mi ezen érzéseket a láttérnek térszerint különválasztott részeire vonatkoztassuk. Szükségképen valami egyébnek kell hozzájárulni, hogy ezen benyomásoknak a szemléletben térszerinti különválasztását létrehozza.

Nyilvánvaló, hogy e feladat egyenlőképen érvényes a tapérvázakra nézve is. Ha a bőrnek két különböző helye egyidejűleg érintetik, úgy két különböző érző idegrost hozatik ingerületbe. Mindazáltal kénytelenek vagyunk következtetni, hogy térszerinti különválasztatásuk önmagában még nem elégséges ok arra, hogy a két érintett helyet, mint különbözőt elismerjék, és két különböző érintő tárgyat magunknak képzeljünk. Sőt a tapérvázknél változhatik ez még a mellékkörülmények szerint is. Ha két mutató ujjunkkal az asztalt érintjük és mindenik ujjunk hegye alatt egy-egy homokszemet érzünk, úgy észreveszszük, hogy két homokszem van jelen. Hogy ha azonban két ujjunk hegyét egymásra téve, közibük egy homokszemet szoritunk, akkor úgy, mint előbb ugyanazon két idegrostban, ugyanazon tapérvázunk lehet, s ezen körülmények közt beennünk még is csak egy homokszemnek kép-

zelme támad. Nyilván való, hogy itt a tagok helyzetének egyidejű felismerése befolyással van szemléletünk eredményére és tudva van, hogy bizonyos körülmények közt, midőn a tapintó ujjak állása felől téves vagy tökéletlen képzelemmel birunk, például midőn két ujj egymás felett kereszteződik, azt hiszszük, hogy két érintett golyót érünk, jöllehet ujjaink közt csak egy van.

Mi az tehát, mi az érző idegeknek térszerinti elváltságához még hozzájárul és ily eseteknél a felelkező térszerinti különválasztást a szemléletben létre hozza? E kérdésre való feleletnél egy még be nem fejezett vitára akadunk. Az egyik fél, Johannes Müller útmutatását követve, azt feleli, hogy a kiterült érzék, a reczeg vagy bőr, e területében önmagát érzi, hogy e szemlélődés velünk született, és hogy a kívülről keltett benyomások csak megfelelő helyeken beigtatandók azon kiterült szemléleti képmásba, melylyel a szerv önmaga felől bir. E nézetet, az ürszemlélet felőli örökletes elméletnek akarjuk nevezni. Ez lényegében a térszemléletnek eredete iránt minden további kutatásnak útját szegi, minthogy ezt olyas valaminek mondja, mi eredetileg adva van, velünk született, tovább nem értelmezhető.

Az ellenkező nézetet, általánosabb alakban, már az angol sensualisták *Molineux*, *J. Locke*, *Jurine* kimondták. Alkalmazása részletesebb élettani viszonyokra csak legújabb időben vehette kezdetét, miután jelesen a szemmozgások tana behatóbban lett kifejtve. A stereoskoprak feltalálása *Wheatstone* által, sokkal szembeszökőbben tárta fel az örökletes elméletnek nehézségeit és helytelenségeit, mintsem ez addig történt, és más megoldást sürgetett, mely ismét inkább ama régiebbhez csatlakozott, és melyet a látás tapasztalatos elméletének akarunk hívni. Ezen elmélet felteszi, hogy egyáltalában érzéki érzéseink a külső tárgyak és események számára nekünk jeleknél egyebet nem szolgáltatnak, melyeknek jelentőségét még

csak tapasztalásból és gyakorlatból kell tanulnunk megismerni. A mi különösen a helyi különbségeknek felismerését illeti, úgy ezt még előbb a mozgások segítségével kellene ismerni tanulnunk, a láttérben tehát a szem-mozgás segélyével. Természetes, hogy a reezeg különböző helyeinek érzései közt levő különbséget, mely azoknak helybeli különbségei által feltételeztetik, a tapasztalatos elmélet is kénytelen elismerni. Ha ily különbség nem léteznék, úgy a láttérben a helyi megkülönböztetés egyáltalában lehetetlen volna lenni. Azon vörös színnek érzése, mely a reezegnek jobbfelét érte, kell hogy különböző legyen ugyanazon vörösnek érzésétől, midőn amaz a reezegnek bal felét éri; és pedig kell hogy e két érzés közti különbség másféle legyen, mint hogy ha a vörösnek két különböző árnyalata egymás után érinti a reezegnek egyazon helyét. Ezen, egyébként mivolta szerint egyelőre még ismeretlen különbséget az érzések közt, melyeket ugyanazon szín a reezegnek különböző helyein kelt, nevezzük Lotze után az érzés táj-jelének. Időelőttinek tartom, ezen táj-jeleknek mivolta felett bár minő további feltevéseknek felállítását. Csak annyi, hogy ilyenek léteznek, kétségtelen azon tény alapján, hogy helyi különbségeket a láttérben megkülönböztetünk.

A különbség tehát a két egymással ellentétes nézet közt abban áll, hogy a tapasztalatos elmélet a táj-jeleket valamiféle jeleknek tekintti, — mindegy bármineműek legyenek, — és azt követeli, hogy e jeleknek jelentősége a külvilág felismerésében megtanulható legyen és megtanultassék. E mellett tehát nem is szükséges, hogy a táj-jelek és az azokkal felelkező külső térbeli különbségek közt bárminemű megegyezés feltételeztessék. Az örökletes elmélet ellenben felteszi, hogy a helyi jelek nem egyebek, mint a térbeli különbségeknek mint olyanoknak közvetlen szemléletei, úgy minéműségükre valamint nagyságukra nézve. Az olvasó meg fogja ebből érteni, hogy a beható ellentét a különböző böleselmi rendszerek közt, melyek majd cleve megállapított

egyezményességet vesznek fel a gondolkodás és képzelésnek törvényei és a külvilág közt, majd pedig minden meg-egyezeit a kül- és belvilág közt a tapasztalásból törekszenek levezetni, az előttünk álló térre is átterjeszkedik.

Mindaddig ugyan, míg valamely lapszerű térnek szemléletére szoritkozunk, melynek egyes részei a szemtőli távolságukra nézve semmiféle, vagy legalább semmi felismerhető különbséget nem mutatnak fel, míg tehát például csak az eget vagy a vidéknek távolabbi részeit tekintjük, addig az ilyféle tér ürviszonyainak felismerése iránt a dolog lényegére nézve mindkét elmélet egyenlő felvilágosítást nyújt. A reczegebeli lapszerű kép megfelel akkor a lapszerű szemléleti képnek, melyet a nevezett tárgyak felől nyerünk. A kettő közt fennálló egyezőtleniségek (incongruentiák) nem oly gyökeresek, hogy nem lehetne azokat aránylag még egyszerű magyarázat vagy felvételek mellett az örökletes elmélettel összeegyeztetni.

Ezen egyezőtleniségek legelsőbbike abban mutatkozik, hogy a reczegei kép fejére van állítva: a mi a tárgyon felül van, az itt alant áll, a mi ott jobbra, az itt balfelé esik; a 4-ik ábra (170. l.) ismerteti meg, hogyan támad, a sugaraknak a látásban végbe menő kereszteződése folytán, a képnek ezen helyzete. *A* pontnak képe *a*, *B*-nek *b*. Ez a látás elméletében már régóta botránykövet képezett, melynek eltávolítására sokféle felvételek lettek kigondolva. Végre kettő maradt főleg fenn; vagy a látszemléleti fentnek és alantnak fogalmát, úgy mint Johannes Müller tévé, egyáltalán csak viszonylagosnak, az egyiknek a másikhoz való viszonyára vonatkozóan tekintik, és felteszik, hogy a megegyezést a lát- és tapérzegebeli fent közt a tapasztalás szolgáltatja, midőn tapintó kezeinket a láttérben látjuk megjelenni. Vagy, miután mégis az ingertületeknek a reczegektől az agy felé kell tova vezetettetniök, hogy ottan észrevétesse, lehetséges, hogy L. Fick után felvegyük, miszerint az agyban látidegrostok és tapidegrostok megfelelőleg úgy vannak összeállítva, hogy a fentet az alant-

tal, a jobbikat a ballal összeegyeztethetik; valósággal azonban ilyféle felvételre való bonczteni alapnak ez ideig még csak nyomát sem ismerjük.

Az örökletes elméletekre nézve a második egyezőtlen-séget az képezi, hogy reczegi kép kettő van, jöllehet egy-szerűen látunk. Ezen nehézség ellenében a nevezett elméle-tek követői azon felvétellel éltek, hogy mindkét reczeg, midőn ingerelve van, az agyban csak egy érzést vált ki, még pedig az által, hogy a két reczegnek egyes pontjai páronként összetartoznak és két-két összetartozó (a z o n o s v a g y f e l e l k e z ő) p o n t csak egynek éreztetik. S valóban létezik is oly bonczteni szerkezet, mely e felvételnek talán megfelel. A két látideg ugyanis egymással kereszteződik, mielőtt az agyba betérne és egymással egyesül. Agybeteg-ségeknél tett kórtani tapasztalatok valószínűnek tüntetik fel azt, hogy a két reczegnek jobb feleihez tartozó idegrostok a jobb agyteke felé veszik utjokat, míg a balfélbeliek a bal-hoz, minél fogva tehát valóban felelkező rostok egybekötöt-tenek. De ha mindez igaz is, úgy boncztanilag még semmi-képen sincsen bebizonyítva, hogy a felelkező rostok egybe-olvadnak.

A tapasztalatos elméletre nézve az érintett két pontban semmi nehézség sem fekszik, minthogy annál a dolog csak a körül forog, hogy az adott érzéki jel, legyen az akár egyszerű, akár pedig összetett, annak jele gyanánt ismertessék fel, a mit az jelent. A nem tanult ember lát-érezéki felfogásában a lehetőségig biztos, a nélkül hogy csak tudná, hogy két reczeg van, azokon két megfordított reczeg-kép, hogy látidegrostbeli ingerületek léteznek és hogy ezek az agyhoz elvezettetnek. Ő tehát mit sem is törődik a reczeg-képnek fonákságával és kettős voltával. Ismervén a benyo-másokat, melyeket ez vagy amaz, így vagy úgy helyezett tárgy szemé által rája tesz, a szerint igazodik el. A lehető-ség pedig, hogy mi a látérezéki érzéseinkhez tapadó táj-jelek-nek térszerinti jelentőségét megismerni tanuljuk, az által van

megadva, hogy egyfelől saját testiünknek mozgó részeit látjuk a láttérben, s tehát ha a tapérzék nyomán már tudjuk, hogy a térbeli viszony és a mozgás miben áll, megtudhatjuk, a átérzéki benyomásokban mely változások felelnek meg a látott kéz mozgásának erre vagy arra. Másfelől, ha nyugvó tárgyakkal megtelt láttér előtt mozdítjuk el szemünket és azokkal együtt a reczeget, úgy ez utóbbi a helyzetében változatlanul maradó reczegi kép előtt tolódik el. Ez által megtudjuk, minő benyomást tesz ugyanazon tárgy a reczegnek különböző helyein. Változatlan reczegi kép, mely a szem forgásakor a reczegen tova tolódik, olyan mint a körző, melyet valamely ábrán ide tova vezetünk, hogy megtudjuk, mely távolok egyenlők, s melyek nem egyenlők. Még ha az érzési tájjelek bármely tetszés szerinti és minden összefüggő rend nélkül összehányt jelrendszeret képeznének is, (mit azonban semmiképen valószínűk nem tartok), ezen eljárás mellett lehetséges lenne, kitalálni, melyek tartoznak együvé és melyek felelnek meg páronként a reczegnek különböző tájain egyenlő távoloknak a lapszerű láttérben.

Ezen felvétellel összhangzásban áll az, hogy — miként Fechner és Volkmannak kísérletei, valamint az enyémek is megmutatták — még a felnőttnek tökéletesen kifejlett szeme is csak azon vonal- és szögpárokat képes a láttérben pontosan és helyesen nagyságukra nézve összehasonlítani, melyek a szem rendes mozgásai által a reczegen közvetlenül egymás után ugyanazon vonal hosszában vagy ugyanazon szögműködésében lemásoltathatnak.

Egyszerű kísérlet által továbbá be lehet bizonyítani, hogy a tap- és látérzéki felismerés közti megegyezés felnőttknél is azon alapszik, hogy kezeink látérzéki képeinek segítségével a kettőt folytonosan összehasonlítjuk. Ha ugyanis hasábos szemtűveget teszünk fel, melynek sík határlapjai jobbra összehajlók, akkor a szemnek valamennyi tárgy jobbra látszik eltolódva. Ha megkísértjük a látott tárgyak valame-

lyikét megragadni, mialatt szemcinket behúnyjuk, még mielőtt kezünket a láttérben megjeleníteni látnók, akkor tőle jobbra kapunk utána. De ha e kísérletnél kezünk után nézünk, akkor azt helyes irányban vezetjük, minthogy a kéznek látérzéki képét azon tárgynak látérzéki képe felé vezetjük, melyet megragadni akarunk. Ha kezünkkel a tárgyakat egy vagy két percig megtapintottuk és amazt szemcinkkel követtük volt, úgy az ámitó szeműveg daczára helyre áll a szem és kéz között az új megegyezés, és tudjuk a téves irányban látott tárgyakat helyesen megragadni, még ha szemünket be húnjuk is. Sőt tudjuk azokat helyesen megragadni még a másik, nem látott kezünkkel is, miből következik, hogy nem a tapérzék általi felismerés lett a téves látérzéki képekhez, hanem ellenkezőleg a látérzéki felismerés lett a tapérzékbelihez alkalmazva és ez utóbbi szerint helyre igazítva. Ha pedig azután, miután ezt így egyideig folytattuk, a szeműveget leteszszük, a tárgyakat szabad szemmel tekintjük meg, a nélkül hogy kezeinket felmutatnók, s most kíséreljük meg a tárgyakat megragadni, mialatt szemcinket behúnyjuk, úgy most ellenkező irányban mint előbb, tehát tőlük balra kapunk utánok. Ekkor a lát- és tapérzéki felismerés közti új összeköttetésnek hatása tart még, miután már a rendes viszonyok ismét helyreállottak.

Midőn a megfordítva mutató összetett göreső alatt tüvel dolgozunk, sőt már, midőn a közönséges tükörnek jobbról balra fordító képe után borotválkozni megtanulunk, beáll szintén mozgásainkuak az eltérő látérzéki képhez való új alkalmazkodása.

Mig az eddig felemlített esetek, melyekben a lapszerű láttérnek szemléleti képe a valóban jelenlevő reczei képekkel lényegileg egynemű és azokhoz hasonló, mindkét egymással ellentétes elmélettel közel egyenlően jól összeegyeztethetők, egészen máskép áll a dolog, midőn közel előttünk álló, nem csak két, hanem három méret szerint kiterjedt testeknek tárgyalására áttérünk. Itten lényeges és

mélyen beható eltérés merül fel reczegi képeink közt egyfelől és úgy a valódi külvilág, valamint azon helyes szemléleti képmás közt másfelől, melyet róla birunk. E téren kell, a két egymással szemközt álló elméletek felett, az eldöntést keresnünk, és e tér, a tan a láttér mélységének felismeréséről és a két szemmeli látásról, volt azért már évek sora óta számos vizsgálatoknak és számos vitatkozásoknak küzdtere. Mint az előzmények mutatják, valóban nagy nyomatékkal és az összes emberi ismeretre nézve messze terjedő jelentőséggel birnak azon alapkérdések, melyek itten az eldöntést sürgetik.

Szemeink mindegyike lapszerű képet rajzol le reczegünkön. Bár mikép rendezve képzeljük is az idegbeli vezetést, az agyban mégis mindkét egyesített reczegi kép ismét csak lapszerű képmás által volt képviselhető. A két lapszerű reczegi kép helyett azonban szemléletünkben három méret szerint kiterjedt testszerű képet találunk. Itt is úgy mint a színek rendszerénél, a külvilág ismét egy mérettel gazdagabb, mint az érzés, itten azonban a szemlélet tökéletesen bírja öntudatunkban követni a külvilágnak gazdagságát. S meg kell jegyeznünk, hogy a mélységnek e szemlélete tökéletesen épen oly eleven, közvetlen és pontos, mint a láttér lapszerű méreteinek szemlélete. Ha ugrást kell tennünk egyik körül a másikra, egészségünk és életünk épügy függ attól, hogy a könek magunktól való távolságát helyesen megbecsüljük, valamint attól is, hogy ne képzeljük azt sem túlságosan jobbra, sem balra; s valóban megteszszük az egyiket épen oly gyorsan és épen oly biztosan, mint a másikat.

Hogyan jöhet pedig létre a mélységnek szemlélete? Ismerkedjünk meg legelőbb is a tényekkel.

Először is meg kell jegyeznünk, hogy a tárgyaknak testszerű alakját és magunktól való különböző távolságát megkülönböztetni, akkor sem teljesen lehetetlen, midőn azokat helyünkől ki nem mozdulva csak félszemmel tekintjük. E mellett lényegileg ugyanazon segédeszközök állanak rendel-

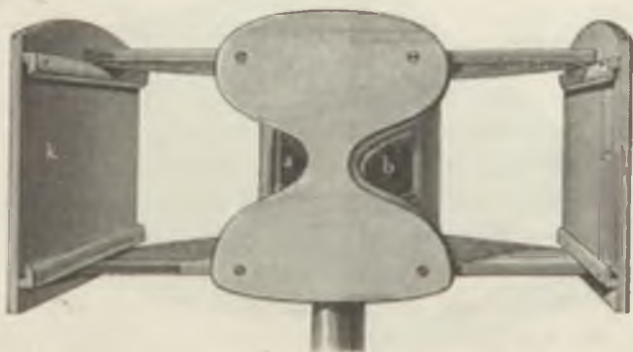
kezésünkre, melyeket a festész alkalmazhat, hogy a vásznon feltüntetett tárgyakat a testszerű alaknak és a különböző távolnak látszatával felruházza. Dicséretesnek találjuk, ha valamely festményben a tárgyak nem lapszerűen, hanem erőteljes testszerűséggel kiemelkedve látszanak. Ha megfigyeljük pedig a tájfestészt, azt találjuk: hogy ő a mélyen álló napot kedveli, mely neki erős árnyékokat szolgáltat, mert ezek emelik ki erőteljesen a feltüntetett tárgyak alakját; kedveli a nem egészen átlátszó levegőt, mert gyenge homályosságánál a távolok jobban visszavonulnak. Díszítményképen ember és állati alakokat szeret választani; mert nagyságuk szerint ismeretes tárgyakon könnyen bírjuk magunkat tájékozni az előtüntetett tárgyak valóságos nagyságára és látszólagos távolságára nézve. Végre még elősegítik a tájékozást szabályos alakzatú emberi műkészítmények, például épületek, mert a fekvő sík irányát félreérthetetlenül felismertetik. Legtökéletesebben sikerül a testalakot előtüntetni helyesen szerkesztett láttávlatos rajzok által, szabályos és arányos alakkal bíró tárgyaknál, mint azt az épületek, gépek, szerszámok rajzainál látjuk. Tudjuk, hogy mind efféléknél a testalak fővonásaiban vagy derékszög alatt egymással összetalálkozó, sík vagy gömbölyű és kerek felületek által határoltatik. Ez elégséges, hogy vele értelmezésünkben kiegészítsük azt, mit a rajz közvetlenül fel nem mutat; sőt már az emberi és állati test két oldala közti arány is könnyíti láttávlatos rajzaiknak megértését.

Ellenben hajótörést szenved még a legjobb festésznek művésze is oly testeknél, melyek alakja ismeretlen és teljesen szabálytalan, mint a kősziklák, jégtörzsökök stb.; sőt ilyen tárgyaknak még maga a természet által, a fényképezés útján készült leghivebb képmása is gyakran nem mutat fel egyebet, mint sötét és világos foltoknak értelmezhetetlen egyvelegét. Ellenben, ha ugyanezen tárgyak a valóságban szemünk előtt állanak, egy tekintet elégséges, hogy alakjukat pontosan felfogjuk.

A festészet nagy mestereinek egyike, t. i. Leonardo da Vinci, ki egyébiránt majdnem oly nagy természetbuvár mint festész volt, volt az első, a ki kimondotta, hogy miben mulja felül szükségképen a valóságos tárgynak valóságos meg szemlélése a festményt. „Trattato della pittura“ czimű munkájában arra figyelmeztetett, hogy két szemmel nézünk, és hogy mindkettőnek a világ felől nyert látképe egymással nem teljesen azonos. Mindenik szem ugyan is reczegképén az előtte fekvő tárgyoknak láttávlati képét látja meg, mint-hogy azonban a két szemnek helye az ürben valamivel különböző, azért az álláspont sem egyenlő, melyből a kettő a láttávlatos kép felvételét eszközli, következőleg a láttávlati kép maga az egyiknél valamivel különböző a másiktól. Ha ujjamat magam elibe tartom, és felváltva a jobbik és bal szememet felnyitom és behúnyom, akkor a hely, melyet ujjam az átellenben álló szobafalon a bal szem képében elfed, inkább esik jobbra, mint a melyet a jobb szemben elfed. Ha kinyújtott jobb kezemet úgy tartom, hogy a hüvelyk arczom felé van fordítva, akkor jobb szememmel többet látok meg a kéz hátából, a ballal többet a tenyérből, és úgy van ez mindig, valahányszor testekre nézünk, melyeknek különböző részei szemünktől különböző távolságban állanak. De ha valamely festményen kezet látnék oly helyzetben leábrázolva, mint a melyben előbb a magamét néztem, akkor azt mind a jobb szem, mind a bal szem egyenlőképen fogná látni, úgy a kéz hátából, mint a tenyérből, az egyik épen annyit, mint a másik. Következőleg: a testszerű tárgyak mindkét szemnek különböző képeket mutatnak fel, a festmény mindkettőnek egyenlőket. Ebben fekszik az érzéki benyomás különbsége, melyet lapszerű képben még a leg-tökéletesebb utánzás sem képes eltávolítani.

Mennyiben járul pedig valósággal a láttérben a mélység szerinti méretnek érzéki szemléletéhez a két szemmel való látás, meg a képek különbsége a két szemben, azt legszembeütőbben mutatta a Wheatstone által feltalált stereoskop.

Szabad feltennem, hogy ezen műszer és az általa eszközölt csalódás, ismeretes. Abban, a stereoskopi képeken leábrázolt tárgyakat testszerű alakban látjuk, azon teljes érzéki nyíl-
vansággal, mint a minőben magokat e tárgyakat látni fognók, ha azok előttünk állanának. E csalódás az által támad, hogy a két szem elébe valamiben különböző kép van felállítva; és pedig a jobb szem előtt olyan, mely a tárgyat láttá-
latosan úgy tünteti fel, mint az a jobb szemnek álláspont-
jából fogna látszani, a bal előtt pedig olyan, minő a bal szem álláspontjának felel meg. Ha egyébiránt a képek jól és pontosan vannak készítve, például a tárgyaknak fény-
képészi felvétele által két különböző álláspontból, úgy be-
tekintéskor a stereoskopba valósággal ugyanazon látérezéki benyomást nyerjük, melyet maga a tárgy, eltekintve színé-
től, nyújtani fogna.



9-ik ábra.

Arra, hogy valaki, ki szemmozgásai felett elégségesen uralkodni képes, két stereoskopi képet testszerű szemléletbe összeillesztszen, semmiféle műszer sem szükséges. Csak tudnunk kell szemünket úgy irányítani, hogy mindkettő egyidejűleg a két képnek felelkező pontjaira legyen rögzítve. Kényel-

mesebben lehet ezt azonban műszerek segítségével eszközölni, melyek a két képet látszólag ugyanazon helyre átteszik.

Wheatstone-nek a 9-dik ábrán feltüntetett eredeti műszerénél az észlelőnek jobb szeme b tükörbe, a bal a tükörbe nézett. Mindkét tükör ferde irányban állott az észlelőnek látvonalaira, és a két kép oldalt g és k -nál volt úgy felállítva, hogy mindkettőnek tükörképe látszólag a két tükör mögé ugyanazon helyre esett. A jobb szem azonban látta a hozzá tartozó képet saját tükrében, a bal szintúgy a másik képet a másik tükörben.

Kényelmesebb, habár képciben kevésbé éles a Brewster-féle hasábos stereoskop (prismás stereoskop), melyet a 10-ik ábra mutat. Ennek a két kép egy lapon egymás mellett



10-ik ábra.

áll, és a stereoskopnak alsó részébe tétetik, mely S válaszfal által két szakaszra beosztott szekrényt képez. Félül két gyengén hasábos, domború lapokkal ellátott üveglencse van alkalmazva, melyek a képeket kevésbé távolabb, kevésbé nagyobbaknak s egyszersmind látszólag a szekrény közepe

felé eltolva mutatják. A műszer felső részének átmetszetét feltüntető 11-ik ábra, *L* és *R*-nél a két hasábos lencsének átmetszeteit mutatja. Így tehát az észlelőre nézve itt is a



11-ik ábra.

két kép a szekrény középsikjában ugyanazon helyre esik, de mindenik szem csak a hozzátartozó képet látja.

Legfeltűnőbb a stereoskopbeli csalódás ott, hol minket a testszerű alak felismerésére szolgáló minden egyéb segéd-eszköz cserben hagy, így egyszer a tértani vonalos alakoknál, például a jegeczminták ábráinál; azután még szabálytalan testek alakjainál, nevezetesen ha azok átlátszók, és azért a nem átlátszó testeknek általunk megszokott módjára nincsenek beárnyékolva. Miért is míg a jéghegy-törzsökök stereoskopi fényképei az egyes szemnek gyakran csak sötét és világos foltokból álló tömkeleget mutatnak, a stereoskop a repedésektől összehasadozott, fénytől átsűrített tiszta jeget, síma, fénylő felületével a legérzékenyebb elevenességben tünteti fel.

Már többször jártam úgy, hogy épületek, városok, vidékek, miket stereoskopi képek után ismertem, midőn velök első ízben valósággal szemközt álltam, az újnak benyomását reám többé nem tették. Ez előbb, minden lehetséges leábrázolások és képek szemlélete után velem soha sem történt, mint-hogy ezek mindig csak tökéletlenül képesek az érzéki benyomást visszatükrözni.

A stereoskopi látásnál a pontosság is bámulatra méltó. Igen elmésen tudta Dove azt alkalmazni. Ha ugyanis két nyomtatott papírdarab, melynek mindketteje ugyanazon betűszedéssel vagy ugyanazon érczlappal lett nyomtatva, s tehát alakjaira nézve teljesen egyenlő, a stereoskopba a stereo-

skopi rajzok helyébe tétetik, úgy azok egy tökéletesen sík lapnak képévé olvadnak össze, megfelelőleg annak, mit előbb valamely lapos festménynek kétoldali reczegképe közt levő egyenségről mondtam. Semmiféle emberi ügyesség nem képes azonban betűket vagy valamely rézlapnak jegyeit más lapon oly pontossággal lemásolni, hogy a két lapnak lenyomata közt különbségek ne léteznének, melyek elégségesek arra, hogy midőn a két nyomtatvány a stereoskopban egygyé olvad, egyes betűk és vonások mások felett elő-, mások pedig vissza ne lépnének. Ez a legegyszerűbb mód, a hamis papírpénzt megismerni. Tétessék a gyanús papír a valódi mellé a stereoskopba és vizsgáltsák meg, valjon a közös képben valamennyi vonás ugyanazon síkban mutatkozik-e.

De e tény a látás elméletére nézve is fontos, mert igen szembeszökőleg mutatja fel a mélység szerinti szemléletnek, a két reczegi kép közti különbségek által feltételezett élnélségét, biztosságot és finomságot.

S most azon kérdés támad; hogyan lehetséges, hogy két különböző láttávlatos és lapszerű reczegi kép, két méretszerinti két kép, egy testszerű szemléleti képpé, egy háromméretszerinti képpé egyesüljön.

Mindenekelőtt megjegyzendő, hogy a szemeink által szolgált két lapszerű képet megkülönböztetni valóban képesek vagyunk. Ha kinyújtott ujjamat magam elé tartom és az átellenben álló falra nézek, akkor ujjam, mint már említettem, mindenik szememnek a fal más-más részét fedi el, ujjamat azért kétszer látom meg a falnak két különböző helye előtt; s ha ezeket egyszerően látom, akkor ujjamat kétfős képben látom.

A közönséges látáskor pedig, midőn a látott tárgyak testi alakjára figyelünk, e kétfős képeket észre sem vesszük, vagy legfőlebb csak igen feltűnő esetekben. Hogy azokat meglássuk, más módon kell a láttért megtekintenünk, úgy t. i. mint a rajzoló, midőn azt lerajzolni akarja. Az ilyen törekszik a leábrázolandó tárgyak valódi alakját, nagyságát

távolságát elfelejteni. Törekszik azokat úgy látni, a mint a láttérben lapszerűen mutatkoznak, hogy azokat ismét így a rajz lapján előtüntesse. Azt lehetne gondolni, hogy ez a látásnak egyszerűbb és eredetibb módja, valamint a legtöbb életbuvár is azt a közvetlen érzés által adott szemlélés alakjaként tekintette, ellenben a testszerű szemlélést mintegy a látásnak betanult, másodlagos nemeként, mintegy a tapasztalástól feltételezett képzelemnek. De minden rajzoló tudja, hogy mennyivel nehezebb a látszólagos alakot felfogni, melyben a láttérbeli tárgyak mutatkoznak, mint sem azoknak valódi testszerű alakját és nagyságát. Ez utóbbiaknak szemlélete, mitől a rajzoló nem tud szabadulni, nehezíti különösen a természet utáni rajzolást.

Ha tehát a láttért két szemünkkel a rajzoló különös módjára szemléljük és figyelmünket a lapszerű alakokra irányítjuk, akkor a két reczegkép közti különbségek valósággal szemünkbe ötlenek; akkor azon tárgyak látszanak kettősen, melyek közelebb vagy távolabb fekszenek a szemtől, mint sem ennek rögzítés-pontja, de oldalt ettől sem állunk igen távol, úgy hogy még lehetséges helyzetüket tisztán megkülönböztetni. Eleinte csak a messze egymástól fekvő kettős képeket ismerjük fel, de nagyobb gyakorlat mellett megfigyelésünkben olyanokat is, melyeknek helyzete csak kevésben különböző.

Ha tehát egyik ujjamat például bizonyos távolságban tartva arezomtól, az átellenben lévő falra tekintek, mi mellett mint már előbb említém, ujjam jobb szemem előtt a fal más helyeit fedi el mint a bal előtt, akkor mindkét szememet felhívva, a falat, melynek egyik pontját rögzítem, egyszerűen látom, a falnak két más helyét azonban ujjammal egybeesve és attól részben elfedve; miért is ujjam nem mutatkozhatik másként mint kettősen.

Mindezek és más hasonló tünemények, melyeket a két szemmel látott tárgy kettős képeinek helyzete feltüntet, egyszerű szabályra vezethetők vissza, melyet Johannes Müller

ekképen fogalmazott. Minden egyes ponthoz az egyik reczegen, egy-egy felelkező pont tartozik a másikon. A két szemnek lapszerű közös latterében a felelkező pontok képei rendesen egybeesnek, a nem felelkezők képei szét-esnek. Kis eltéréseket nem tekintve, a két reczegnek oly pontjai felelkeznek egymással, melyek a rögzítési ponttól egyenlő messze jobbra vagy balra és egyenlő messze fel vagy lefelé fekszenek.

Már fent említettem, hogy a látásnak örökletes elmélete kénytelen volt feltenni és feltette, hogy azon érzések olvadnak tökéletesen egybe, melyek felelkező, vagy mint azokat Johannes Müller elnevezé, azonos pontokon keletkeznek. E felvétel legélesebb kifejezésére talált azon boncztnai felvételen, miszerint két idegrost, mely a két reczegnek felelkező pontjaiból indul ki, egymással vagy a látidegek kereszteződési helyén vagy az agyban egyesül. Megjegyzem egyébiránt, hogy Johannes Müller az ilyféle erőművi értelmezés lehetőségére utalt ugyan, véglegesen azonban még sem fogadta el. Az azonos pontok felőli törvényt mint a tényeknek kifejezését akarta ő tekintetni és csak arra fektetett súlyt, hogy érzéseiknek helyhez kötése (localisatiója) a latterben mindig ugyanaz.

Ekkor azonban azon nehézség merült fel, hogy a kettős képek megkülönböztetése mindannyiszor, valahányszor azoknak összeolvadása valamely térszerint kiterjedt tárgynak szemléletévé lehetséges, aránylag eléggé hiányos, mi csak annál feltünőbb ellentétben áll azon rendkívüli pontossághoz, melylyel, mint Dove bebizonyította, képesek vagyunk a stereoszkopbeli kiemelkedettséget megítélni. S ez utóbbi még is a reczegi képeknek ugyanazon különbségei folytán történik, melyek a kettős képek tüneményének alapjául szolgálnak. Két stereoskopi kép közt igen csekély különbség már elégséges lehet arra, hogy kidomborodó emelt mű benyomását hozza létre, míg husz egészen harminczszorosan kellene azt nagyobbítani, mielőtt az a kettős képekben észrevehetővé

lesz, még ha fel tesszük is, hogy azokat valamely jól begyakorlott észlelő a legszorgosabban figyeli meg.

Ehhez járulnak még több másféle körülmények, melyek a kettős képek felismerését majd nehezítik, majd pedig könnyítik. Legfeltűnőbben történik az első a kiemelkedettség szemlélete folytán. Mentől élénkebben tolja fel magát emez, annál nehezebb a kettős képeket meglátni; következőleg valóságos tárgyaknál nehezebb, mint sem a stereoskopi képeknél. Ellenben könnyíttetik azok észlelése, ha vagy a vonalaknak színezete és fénye a két rajzban különböző, vagy ha vonalak és pontok vannak a rajzba felvéve, melyek a kettőben felelkezőleg állanak, és ellentétük által emelik ki a megegyezésnek hiányát a szomszédos nem teljesen felelkező vonalak és pontok közt. Méltán nem volna szabad, hogy mindezen körülmények befolyással legyenek, hogy ha az érzésnek egyenlő helyhez kötése az idegekbeli vezetések bárminő összeköttetése által volna feltételezve.

Ehhez járult még a stereoskopnak feltalálása után a nehézség, a mélység szerinti szemlélésnek magyarázatát adni a két reezegi kép közti különbség alapján. Legközelebb is Brücke figyelmeztetett minket oly tényekre, melyek lehetségesnek tüntették fel, a stereoskopbeli tünemények összeegyeztetését a két reezegnek velünk született azonossága felőli elmélettel. Ha megfigyeljük tekintetünk vándorlását a stereoskopi képek vagy más megfelelő tárgyak szemléletekor, úgy észre vesszük, hogy a különböző határvonalakat követjük, úgy hogy az épen rögzített pontot egyszerűen látjuk, míg más pontok kettős képekben mutatkoznak. Figyelmünk azonban közönségesen a rögzített pontra van összpontosítva és a kettős képeket oly kevésbé vesszük észre, hogy azok felnőtt embereknek, kiket azokra figyelmeztetünk, teljesen új tüneményeknek tetszenek. Minthogy pedig ily alaknak határvonalait követve, szemünket egyenlőtlenül ide s tova mozgatjuk és kénytelenek vagyunk engedni, hogy azok majd összebb, majd inkább széthajoljanak, a mint

mi a körrajznak látszólag közelebb vagy távolabb álló részeit befutjuk, úgy a mozgásoknak ezen egyenlőtlenségei alkalmat nyújthatnának, hogy a látott vonalak különböző távolságáról magunknak képzelmet alkossunk. S valóban úgy is van, hogy midőn szemeinket így mozgatva, valamely stereoskopi vonalas rajzot nézegetünk, az általa előtüntetett emelt műnek sokkal tisztább és pontosabb képét nyerjük, mint mikor mereven egy pontot rögzítünk; ennek oka egyszerűen talán abban fekszik, hogy ilyenén megtekintéskor az alaknak valamennyi pontját egymás után látjuk, egyenes irányban s következőleg sokkal élesebben, mint mikor csak egyet nézünk egyenes, a többit pedig oldalirányban.

Brücke-nek azon felvétele azonban, hogy a mélység szerinti szemlélet egyedül tekintetünk mozgása által és a közben hozatik létre, Dove-nak kísérleteivel szemközt, helyesnek nem bizonyult, ez utóbbiak kimutatván, hogy a stereoskopi képek által eszközölt sajátságos csalódás még vilámszikkra való megvilágításkor is létrejön. Ennek a fénye egy másodpercznek még csak négyezred részéig sem tart. Ily csekély idő alatt nehéz földi testek még igen jelentékeny sebesség mellett is oly keveset haladnak előre, hogy azok végkép vesztegelni látszanak. Ezért is a szikra tartama alatt még a legcsekélyebb észrevehető szemmozgás sem jöhet létre, de mind a mellett a stereoskopi kép ki-domborodásának teljes benyomását ekkor is megkapjuk.

Hogy továbbá a kétszembeli érzéseknek ilyenén összeolvadása, minőt a boneztani felvétel feltételez, egyáltalában nem létezik, azt bizonyítja a stereoskopi fénylésnek, szintén Dove által felfedezett tüneténye. Ha ugyanis valamely felület az egyik stereoskopi képen fehér, a másikon pedig fekete, akkor az egyesült képben fénylőnek tetszik az, még ha a rajznak papírja tompa is és nem fénylő. Van elég, jegeczminták után akképen készült stereoskopi rajz, hogy az egyik fehér vonalakat mutat fel fekete alapon, míg a másik fekete vonalakat fehér alapon. Az egész akkor úgy tetszik,

mintha a jegeczminta fénylő irlából készült volna. Még szebben sikertül ugyanazon módon a stereoskopi fényképeken a víznek, növényleveleknek fénylését létre hozni.

E sajátosságos tüneménynek magyarázata a következő: Nem fénylő felület, minő például a nem fénylő fehér papíré, a ráeső fényt minden irányban egyenlő mértékben veri vissza, miért is mindig egyenlő világosnak mutatkozik, bármely oldal felől nézzük is azt; az ilyen azért szükségképen mindkét szemnek mindig egyenlő világosnak is tetszik. Ellenben a fénylő felület a minden irányban egyenlően szétszórt fényen kívül, még oly fényt is vet vissza, mely csak bizonyos irányokban halad. Lehetséges pedig, hogy az ilyen visszavert fény az egyik szemet elérje, a nélkül hogy szükségképen a másikat is érintené. A visszaverő felület akkor az egyik szemnek sokkal világosabbnak tetszik mint a másiknak; s minthogy ez csak fénylő testeknél fordul elő, azt hiszszük, hogy a stereoskopi képet fényleni látjuk, midőn ama benyomást utánozzuk.

Ha a két reczegi képnek benyomása az érzésben összeolvadna, akkor a fehér és fekete színek egyesítése folytán, szürke színnek kellene támadni. Hogy a fehér és fekete szín, midőn a kettő a stereoskopban egyesítettik, fénylést okoz, tehát oly érzéki benyomást hoz létre, minő egyenletesen színezett szürke felületek által semmiképen elő nem idézhető, ez azt bizonyítja, hogy a két reczegi kép az érzésben össze nem olvad.

Hogy a fénylésnek benyomása nem alapszik az egyik és másik szembeli benyomásnak egymás közti váltogatásán, vagy a két reczegnek ugynevezett vetélkedésén, az újból kitűnik ilyféle képeknek pillanatos megvilágításánál villamszikrával. Mert a fénylés benyomása ekkor is teljesen ki-fejlődik.

Sőt ki lehet mutatni, hogy a két szem képe nem csak az érzésben nem olvad össze, hanem hogy a két szem részéről nyert két érzés még nem is egyenlő, sőt inkább

egymástól igen is megkülönböztethető. Mert ha az érzés, melyet nekünk jobb szemünk ad, megkülönböztethetetlenül egyenlő volna azzal, melyet nekünk a bal kölesönöz, úgy szükségképen legalább a villámszikra világánál, midőn a megkülönböztetést semmiféle szemmozgás elő nem segítheti, közönyös fogna lenni, akár a jobb képet mutatjuk a jobb szemnek, a balt pedig a balnak, akár megfordítva állítjuk balról a jobb képet, jobbról a balt. Ez azonban semmiképen sem közönyös, mert ha e felcserélést megteszszük, akkor a tárgynak kiemelkedettsége is megfordítva mutatkozik; a minnek távolabbnak kellene lenni, közelebbnek látszik, a minek emelkedettnek kellene lenni, bemélyedtnak látszik és megfordítva. S minthogy villámszikkrávali megvilágításkor sem cseréljük fel soha a helyesen látszó kiemelkedettséget a megfordítottal, ez határozottan azt mutatja, hogy a jobb szembeli benyomás nem megkülönböztethetetlenül egyenlő a bal szembelivel.

Végre igen sajátosságok és érdekesek a tünemények, midőn a két szem elé oly képek állíttatnak, melyeket nem lehet egy egyes tárgy szemléletében egyesíteni. Ha például az egyikét nyomtatott lapra, a másikat pedig rézmetszetre hagyjuk tekinteni. Akkor ugyanis bekövetkezik az úgynevezett vetélkedés a két láttér közt. Akkor nem látjuk a két képet egymás által egyidejűleg elfedve, hanem egyes helyeken az egyik, másokon a másik tolja magát előtérbe. Ha mindkét rajz egyenlően tiszta, akkor közönségesen néhány másodperc múlva váltakoznak a helyek, hol majd az egyikét látjuk, majd a másikat. Hogyha azonban az egyik kép a láttérnek valamely helyén egyenletesen fehér vagy fekete alapot mutat fel minden megszakadás nélkül, míg a másik ugyanott jelzetes körrajzot, akkor az utóbbi rendesen állandóan felülkerül és az egyenletes alapnak észrevételét elnyomja. Kénytelen vagyok azonban korábbi észlelék ellenkező állításaival szemközt kiemelni, hogy lehetséges figyelmünk önkényes irányulása szerint ezen vetélkedés

felett uralkodni. Ha megkísértjük e betűket olvasni, úgy a betűk állandóan fenmaradnak, ott legalább hol épen olvasnunk kell. Ha ellenben a rézmetszetnek vonalait és körrajzát törekszünk követni, úgy állandóan ezek lépnek elő. Azt találom továbbá, hogy lehetséges ily körülmények közt figyelmünket valamely igen gyöngén megvilágított tárgyra lekötöni és helyette a takaró, sokkal világosabbat, mely a másik szemnek reczei képében jelenkezik, kiszorítani; például követhetjük valamely egyenletesen fehér tiszta papírfelületnek rostozatát, míg mellette a másik láttérben erős fekete rajzokat mellőzünk. A vetélkedés tehát nem felel meg valamely érzés túlnyomó voltának vagy habozásának, hanem a figyelem lekötésének vagy habozásának. Nincs is talán ennél alkalmasabb tünemény azon indokok tanulmányozására, melyek képesek figyelmünket vezetni. Az öntudatos szándék egyedül, hogy most az egyik szemünkkel nézünk, azután a másikkal, arra még nem elégséges, hanem szükséges hogy annak, a mit látni kívánunk, lehetőleg tiszta érzéki képzelmet ébreszszük. Akkor az tüneményképen is jelentkezni fog. De ha képzelmeink menetét magára hagyjuk, a nélkül hogy azt bizonyos szándék által lekötnök, úgy épen ama habozás áll be önkénytelenül, mely mint vetélkedés szokott elneveztetni. Ennél azután rendesen az igen világos és erősen kirajzolt tárgyak a másik láttérbeli sötétebb és gyöngén megkülönböztethetők felett vagy állandóan, vagy legalább hosszabb időre győzedelmeskednek.

Sőt még, ha a két szem elébe különböző színű üvegeket állítunk, és azokon át a láttérben ugyanazon tárgyakra nézünk, hasonló vetélkedés áll be a színek közt, a mennyiben foltokként majd az egyik, majd a másik lép előtérbe; csak bizonyos idő múlva, midőn a színek élénksége mindkét szemben a bekövetkező egyoldalú kifáradás és az általa létrehozott kiegészítő utóképek folytán gyengébb lett, megnyugszik a váltakozás és látjuk akkor a két eredeti színnek bizonyos vegyes színét.

Egyik vagy másik színe figyelmünket leszzegezni sokkal nehezebb, mintsem különböző mintákra, melyeket vetélkedésbe hoztunk. Mert figyelmünket csak is akkor lehet valamely érzéki benyomásra állandóan rögzíteni, ha azon folytonosan valami új követni valót találunk. Lehet ezen azonban segíteni az által, hogy az üveg lapoknak a szem felé eső oldalán betűket vagy vonalas mintákat hagyunk tükröződni és figyelmünket ezekre fordítjuk. Ezen tükröképek fehérek és szintelenek; mihelyt azonban közülök valamelyikére rögzítjük figyelmünket, a háttérnek megfelelő színe is észrevételünk alá kerül.

Ezen, a színek vetélkedésére vonatkozó kísérletek felett sajátyszerű vita támadt a legjobb észlelők közt, melynek lehetősége szintén jellemzetes ezen viszonyok mivoltára nézve. Az észlelők egy része — és ezek közt Dove, Regnault, Brücke, Ludwig, Panum, Heringnek neveit találjuk — állítják, hogy két színnek két szemmel egybevetésekor azoknak vegyes színét látják. Mások, mint H. Meyer Zürichben, Volkmann, Meissner, Funke épen oly határozottan kijelentik, hogy a vegyes színt soha sem látták. S kénytelen vagyok teljességgel magam is ez utóbbiakhoz csatlakozni; azon eseteknek gondos megvizsgálása, melyekben talán látszhatott volna, mintha a vegyes színt látnám, mindig azt mutatta ki, hogy ellentétességi tünetmennyekkel volt dolgom. Valahányszor a kétszemmel színelegy mellé a valódi vegyes színt főtém, tökéletesen tisztán tűnt fel nekem a kettő közti különbség. Másfelől azonban nem szenved kétséget, hogy a legelőbb nevezett észlelők azt valóban látták, mit látni állítanak és tehát hogy itten valóban nagy egyéni különfésesség áll fenn. Bizonyos esetekben, melyeket Dove mint különösen alkalmasakat ajánl (kiegészítő sarkítási színeknek két szemmel egyesítése fehér színné), az elegyülésnek még csak legesekélyebb látszatára sem akadhattam.

Ezen feltűnő különbség aránylag ily egyszerű észlelésnél, úgy látszik nekem, felette nagy érdekekkel bír és

nevezetes bizonyítékul szolgál a tapasztalatos elméletnek azon fentebb taglalt felvételére nézve, hogy hely szerint különválasztott érzésekképen csak azokat szemléljük, melyek egymástól önkénytes mozgások által különválaszthatók. Még midőn félszemmél vegyes szint látunk is, Th. Young elmélete szerint, akkor is egymás mellett három különböző érzés támad; ezek azonban a szemnek semmiféle mozgásánál külön nem választhatók, hanem hely szerint mindig egyenlőképen egyesítve maradnak. S még is láttuk, hogy kivételképen még ezek is a szemléletben különválaszthatnak, mihelyt a színnek egy része valamely átlátszó színes takaróhoz tartozni látszik. Két felelkező reczegpontnak megvilágításakor különböző színekkel, ezeknek különválasztása közöséges látásnál ugyan nem fordul gyakran elő, s ha előfordul, úgy inkább csak a láttérnek figyelembe nem vett részein. Az ily különválás azonban két, a szem mozgásaikor egymástól némileg függetlenül elmozduló alkatrészre elő van még is készítve és a figyelem fokától, melyet az észlelő a láttérnek oldalirányban látott részeire, valamint az előforduló kettősképekre fordítani szokott, fog függni, mennyire jól vagy kevésbé jól tanulta meg az egyidejűleg mindkét reczegre beható színeket egymástól megkülönböztetni vagy meg nem különböztetni. Egy szem- és két szembeli színelegyek több színérzést keltenek egyidejűleg és egyszersmind a láttérben egyenlőn el is helyezik azokat. A különbség a szemléletben csak abban áll, hogy mi az érzéseknek ezen összeségét vagy közvetlenül mint összetartozó egészet fogjuk fel, a nélkül hogy azt részeire szétbontanók, vagy hogy bizonyos gyakorlottságot szereztünk magunknak a részeket, melyekből az áll, felismerni és egymástól különválasztani. Az elsőbbit nagyobbára tesszük, de még sem mindig a félszemmi színelegyítésnél; a másakra hajlandóbbak vagyunk a kétszemmi elegyítésnél. Minthogy azonban e hajlandóság lényegileg azon gyakorlottságon alapszik szükségképen, melyet előzetes észlelés folytán szereztünk,

úgy megérthető, hogy miért mutat az annyira nagy egyéni sajátságokat.

Ha figyelünk a vetélkedésre, mely két oly stereoskopi rajznak egyesítésekor következik be, melyek egyike fekete vonalakkal fehér alapon, a másik fehér vonalakkal fekete alapon szerkesztetett, úgy látni lehet, hogy a közel felelkezőleg fekvő fehér és fekete vonalak mindig egymás mellett láthatók maradnak, mi csak úgy történhetik, hogy az egyik alapnak fehér és a másiknak fekete színe egyidejűleg szintén fenmarad. Ennek következtében az irlaszerűen fénylő alap részéről a benyomás sokkal nyugalmasabb, mint a minő teljesen különböző rajzok által előidézett vetélkedéskor támad. Legszebben lehet ezt látni, ha a rajznak fekete fele mellé nyomtatott fehér lapot állítunk, úgy hogy a fekete alap egyik részében fénylést hoz létre, másik részében pedig a két szemben egymást eltakarva, vetélkedést. Mindaddig, míg figyelmünket a leábrázolt tárgyak alapjára fordítjuk és azon végig pillantunk, addig a különböző színű határvonalak a rögzítési pont közös vezetői, és a rögzítés csak az által tartható fenn, hogy folytonosan mindkettőt követjük. Szükséges azért, hogy figyelmünket mind a kettőre lekössük, mi mellett akkor mindkettőnek benyomása is egymás mellett egyenlőképen fennállva marad. Nincsen jobb mód arra, hogy két képnek egybevetett benyomását állandóan lekössük, mint az itt felemlített. Lehetséges ugyan még másként is egymást eltakaró, nem hasonló rajzoknál azokat rövid ideig részben egybevetve látni, arra figyelvén t. i., miként fedik azok egymást, minő szögek alatt találkoznak össze vonalaik stb. De a mint figyelmünk azután e vonalok egyikére irányul, eltűnik a másik tér, melyhez ezen vonal nem tartozik.

Hogy ha most a két szemmel való látásra vonatkozó tényekre még egyszer visszatekintünk, úgy azt találjuk, hogy

1. A két reczeg felelkező helyeinek ingerületei megkülönböztethetetlenül egy érzéssé nem olvadnak össze, mert

különben nem fogna lehetséges lenni, hogy a stereoskopi fénylést lássuk. Hogy e tünemény a vetélkedésből nem magyarázható, még ha hajlandók lennénk is azt érzésseli és nem figyelembeli miveletnek tekinteni, hogy az épen ellenkezőleg a vetélkedés fennakadásával van összekötve, fentebb lett bebizonyítva.

2. A felelkező reczeghelyektől származó érzések, nem megkülönböztethetetlenül egyenlők; mert különben nem volna lehetséges, hogy pillanatos megvilágításnál valamely stereoskopi képen a helyes emelkedettséget a megfordítottól megkülönböztessük.

3. A felelkező helyek két különböző érzésének egybeolvadása nem is az által jön létre, hogy az egyik közülök egyidőre elnyomatik; mert a két szemmél való mélység szerinti szemlélés egyedül azon alapszik, hogy mindkét különböző kép egyidejűleg jut el öntudatunkhoz. A mélységnek ilyféle észrevétele pedig lehetséges megrögzített reczegi kép és pillanatos megvilágítás mellett is.

Ezen megkülönböztetés folytán tehát felismerjük, hogy a két szem felől egyidejűleg két egymástól megkülönböztethető érzés össze nem olvadva jut el öntudatunkhoz, és tehát kell hogy azoknak összeolvadása a testi világnak egyszerű szemléleti képmásává, nem valamely előképezett érzésseli gépezet, hanem a figyelemnek mivelete által eszközöltessék.

4. Azt találjuk, hogy a felelkező reczegpontoknak látérezéki benyomásai egészben véve egyenlően vagy közel egyenlőképen vannak helyhez kötve, hogy azonban ezen egyenlőséget jelentékenyen megzavarhatja a képzelem, mely a két benyomást ugyanazon egyszerű tárgyra vonatkoztatja. Hogy ha amaz egyenlőség az elhelyezésben az érzésnek közvetlen mivelete folytán adva volna, akkor nem fogna lehetséges lenni, azon érzést ellenkező képzelem által megszüntetni. Másként áll a dolog, hogyha a felelkező képek elhelyezésének egyenlősége a szemmértéken, azaz a távoloknak ta-

pasztalatilag begyakorlott megbecslésén, tehát a helyi jelek jelentősége felől szerzett ismereten alapszik. Akkor csak egyik tapasztalat küzd a másik ellenében; akkor megérthető, hogy a képzelem, miszerint két látérzéki kép ugyanazon tárgyhöz tartozik, befolyást gyakorol azok viszonylagos helyzetének szemmérték szerinti megbecslésére, s hogy ennek következtében távolságaik a rögzítés pontjától a láttér felületén egyenlőknek tekintetnek, jóllehet nem teljesen egyenlők.

De továbbá még következik, miszerint, ha a felelkező pontoknak elhelyezési egyenlősége a két láttérben nem alapszik az érzésen, a különböző távoloknak eredeti összehasonlításai mindenik egyes láttérben szintén nem alapulnak közvetlenül az érzésen. Mert ha ilyen adva volna, úgy szükségképen következne, hogy a két tér közti megegyezés közvetlenül az érzés által teljesen adva legyen, mihelyt a két rögzítési pontnak azonossága és a megegyezés az egyik szemnek akár csak egyetlen délköre és a felelkező másik szembeli délkör közt megállapítva volna.

Az olvasó látja ebből, mint sodortatunk a tények ezen lánezolata folytán a tapasztalatos elmélet felé. E mellett meg kell jegyeznem, hogy még újabb időben tettettek kísérletek, a mélység felismerésének létrejöttét és a két szemmel egyszerű és kettős látásnak tümenényeit előképezett gépezetek felvételéből értelmezni. Ezen kísérletek, melyek bírálásába nem akarok e helyen becsátkozni, minthogy az minket igen bonyolodott részletekhez fogna vezetni, részben igen mesterkélt, egyszersmind pedig igen határozatlan és nyúlékony felvételeik daczára, eddig még mindig azon szenvedtek hajótörést, hogy a valódi világ végtelenszer gazdagabb viszonyokat mutat fel, mintsem azok tekintetbe venni képesek valának. Ezért is történik, hogy midőn efféle rendszerek a látásnak valamely bizonyos esetére alkalmaztatnak, melyet értelmezni akarnak, valameny-

nyi többire nézve nem illenek. Akkor azon igen kétes felvételnél kell kiségiteni, hogy ezen többi esetben az érzés az ellenkező tapasztalat által legyőzetik és megsemmisítetik. De hová fogunk eljutni érzéki felfogásunkban, ha képesek lennénk érzéseket oly körülmények közt, midőn azok figyelmünk tárgyára vonatkoznak, ellenkező képzelmekek kedvéért megsemmisíteni? S minden esetre világos, hogy minden ily esetben, hol végre is a tapasztalatnak kell döntenit, ennek segítségével a helyes szemléletnek képződése sokkal könnyebben fog végbe mehetni, hogyha semmiféle ellenkező érzések, melyeket legyőzni kellene, nincsenek jelen, mintsem ha azoknak befolyása ellenében kell a helyes ítéletet megszerezni.

Ehhez járul még, hogy ezen felvételek, melyeket egymás után az örökletes elméletnek különböző módosulatainál a tüneményekhez illesztgetni törekedtek, teljesen feleslegeseek. Semmiféle tény eddig még nem ismeretes, mely a tapasztalatos elmélettel összeegyeztethetlen volna, mely utóbbi mellett semmiféle be nem bizonyítható boncztoni szerkezetnek, az idegrendszernek semmiféle hallatlan élettani működésének felvételére nem szorulunk, melynél nem tesziünk fel egyebet, mint a szemléletek és képzelmekeknek lényeges törvényeik szerint, a mindennapi tapasztalás folytán oly jól ismert társulásait. Igaz, hogy a szellemi működéseket még nem bírjuk értelmezni és valószínűleg még a jövőben sem fogjuk egyhamar birni. Minthogy azonban ezen működések tetteleg léteznek, és minthogy eddig még az örökletes elméletnek semmiféle módosulata ki nem kerülhetett, hogy azok hatására ne hivatkozzék, hol más értelmezési kísérletek hajótörést szenvedtek, azért a természetbuvár álláspontjából sem lesz szabad a szellemi élet titkait, mint a látás felőli elméletünknek hiányait tekinteni.

Lehetetlen, a térszerinti szemléletek terén valahol is határt vonni, hogy azon részt, mely mintegy a közvetlen érzéshez tartozik, egy másik résztől elválasszunk, mely mint-

egy csak a tapasztalás által szereztetett. Bár hol is kíséreljük meg e határt vonni; mindig akadunk akkor oly esetekre, melyekben a tapasztalás pontosabbnak, közvetlenebbnek és határozottabbnak bizonyul be, mint az állítólagos érzés, és ez utóbbit legyőzi. Csak egy felvétel nem vezet ellentmondásokhoz, s ez a tapasztalatos elméleté, mely valamennyi térszerinti szemléletet a tapasztaláson nyugvónak tekint, és felteszi, hogy a látézésünk tájjelei szintűgy, mint azoknak módosulatai magukban véve semmi egyebek, mint jelek, melyeknek jelentőségeit kiolvasni még előbb tanulnunk kell.

De megtanuljuk azokat olvasni, mialatt azokat mozgásaink eredményével és a változásokkal, melyeket általuk magunk a külvilágban létrehozunk, összehasonlítjuk. A gyermek legelőbb kezével kezd játszani; van bizonyos idő, midőn még nem tudja ezeket, és szemeit valamely fénylő vagy színes tárgy felé, mely figyelmét felkelti, elvezetni. Később tárgyak után kapkod, meg-megforgatja, megnézi, megtapogatja, megnyalogatja ezeket minden oldal felől. A legegyszerűbbek neki legkedvesebbek; a legkezdetlegesebb játékszer inkább részesül tetszésében, mint az újkori ipar ez ágának legleleményesebb találmányai. Ha a gyermek azután hetek hosszant — naponta egy darabig — egy ily tárgyat meg-megnézegetett és azt végre valamennyi távlátszatos képei szerint ismeri, elveti az elsőt és más alakok után kap. Így tanulja meg egyidejűleg a különböző látézési képeket, melyeket ugyanazon tárgy szolgáltat, kapcsolatban a mozgásokkal megismerni, melyeket két keze a tárgynak kölesönözhet. Valamely tárgynak térbeli alakjáról ekképen szerzett szemléletes képzelem képezi mindezen látézési képeknek összességét. Valóban, ha pontos szemléleti képet szereztünk magunkban bár mely tárgynak alakja felől, képesek is vagyunk képzelő tehetségünk segédelmével azon látványt is levezetni, melyet nekünk a tárgy nyújtani fog, midőn azt egyik vagy másik oldal felől tekintjük meg, azt így vagy amúgy megfordítjuk. Mindezen egyes szemléleti

képek egybefoglalvák a tárgy testszerű alakja felőli képzelemben, és abból ismét levezethetők egyetemben azon mozgások felőli képzelemmel, melyeket végrehajtanunk kell, hogy a látvány egyes alakjai valóban feltűnjenek.

Ennek egy igen feltűnő bizonyítékára akadtam gyakran stereoskopi képek szemlélésekor. Ha például igen összetett jegeczalakoknak bonyolodott vonalas rajzait nézzük, eleinte gyakran nehezünkre esik azokat egyesíteni. Szokásom akkor legelőbb is a képeken két összetartozó pontot felkeresni, azután szemeimet önkénytesen úgy mozgatom, hogy a képek egymást eltakarják; mindaddig azonban, míg meg nem értettem, hogy a képeknek miféle alakot kell feltüntetniök, szemeim is szüntelen egymástól elválnak és a képek megszűnnek egymást takarni. Ezután igyekszem az alaknak különböző vonalain végig tekinteni; rögtön felmerül előttem a leábrázolt testi alaknak értelme, és e pillanattól fogva minden nehézség nélkül halad szemeimnek két látvonala a látszólag jelenlevő testnek határvonalain végig, a nélkül hogy azok többé valamikor is egymást elhagynák. Mihelyt a test-alaknak helyes értelme felmerült, egyszersmind fel van találva a szabály is a két szemnek ezen test szemlélésekor összetartozó mozgásai számára. Mialatt ezen mozgásokat megteszszük és a várt látérzéki képekhez eljutunk, képzelmtűnk mintegy ismét visszafordítjuk a tárgyilagossá világ országába és kipróbáljuk, vajon ezen visszafordítás összeegyező-e az eredetivel, így a kísérlet által meggyőződést szerzendők képzelmtűnk helyessége felől.

Azt hiszem, hogy főleg ez utóbbi pont igen is tekintetbe veendő. Érzéki érzéseinknek értelmezése kísérleten és nem a külső eseménynek pusztá megfigyelésén alapszik. A kísérlet azt tanítja, hogy a két esemény közti összefüggés minden általunk tetszés szerint választott pillanatban fönmáll, egyébként tetszés szerint általunk megváltoztatott körülmények közt. A két eseménynek összetartozása ez által az időben állandónak bizonyul be, mint-

hogy azokat tetszés szerint bármely pillanatban próba alá vethetjük. A pusztá megfigyelés alig nyújt valamikor is ismeretünknek ennyi biztosságot, bármily számosan, sokszerűen megváltozott körülmények közt végbevitt ismétlés mellett sem. Mert azt tanítja ugyan, hogy azon események, melyeknek összetartozása forog kérdés alatt, gyakran vagy eddig mindig együtt állottak be, azt azonban nem, hogy azok minden, tetszés szerint általunk választott időben bekövetkeznek. Még ha azon példákon végig tekintünk is, melyeket a módszerben tökéletes tudományos megfigyelés, mint a csillagászat, a légtünettan, a földtan szolgáltat, azt találjuk, hogy csak akkor érezzük magunkat az illető tünemények okaira nézve biztosaknak, ha képesek vagyunk ugyanazon erőket kísérletileg műtermekben kimutatni. A nem kísérleti tudományok által még egyetlen egy új erőt sem ismertünk fel. Úgy hiszem, hogy e tény nem egészen jelentéktelen.

Világos, hogy az érzéki jeleknek jelentősége felől a leírt módon szerzett tapasztalatokból mindazt megtanulhatjuk, mit azután tapasztalatilag újból lehet megvizsgálni, tehát szemléleteinknek teljes igazán tárgyilagos foglalatját. E mellett eddig feltettük volt, hogy az ür és mozgás felől már a tapérzék által szereztünk magunknak szemléletet. Egyelőre természetesen közvetlenül csak azt tapasztaljuk, hogy az akaratbeli indítatok folytán változásokat hozunk létre, melyeket a tap- és látérzéssel felismerünk. Ezen önkényleg létrehozott változások nagyobb részben csak úrbeli változások, azaz mozgások; lehetséges azonban eképen még más változásokat is magokon a tárgyakon létesíteni. Lehetséges-e pedig hogy kezeink- és szemeinknek mozgásait úrbeli mozgásokként felismerjük, a nélkül hogy erről nekünk előbb már tudomásunk volna és megkülönböztethetjük-e azokat oly változásoktól, melyek a tárgyak tulajdonságaira vonatkoznak? Úgy hiszem, hogy igen! Az úrbeli viszonylatok lényegesen megkülönböztető jelleme abban fekszik, hogy

azok az állagoknak oly változó viszonylatai, melyek azoknak minőségétől és tömegétől függetlenek, míg valamennyi többi tárgyilagossági viszonylatok a tárgyak tulajdonságaitól függenek. Legkönnyebben és közvetlenül bizonyul az be a látérezéki felismeréseknél. A szemnek mozgása, melynek folytán a reczegkép a reczegen tova elmozdul, egyenlő ismétlődésekor a változásoknak ugyanazon sorát hozza létre, bárminő legyen is a láttérnek foglalatja; azt eszközli, hogy azon benyomások, melyeknek eddig a_0, a_1, a_2, a_3 voltak helyi jelei, az új b_0, b_1, b_2, b_3 helyi jeleket öltik magukra; s ez mindig egyenlőképpen megtörténhetik, bárminők is legyenek e benyomásoknak minőlegességei. Ez által e változások mint olyszerek vannak jellegezve, minőket épen úrbeli változásoknak nevezünk. Ezzel a tapasztalati feladatnak eleget tettünk és nem szükséges, hogy itt azon kérdésnek további taglalásába bocsátkozzunk, mennyi van az úrszerűtől általános szemléletből a priori s mennyi a posteriori adva.

A tapasztalatos elmélet ellenében ellenvetésül szolgálhatna az érzéki csalódások lehetősége. Mert ha a tapasztalatból tanuljuk érzéseinket értelmezni, úgy ez értelmezésnek összhangzásban kellene mindig a tapasztalással állnia. Az érzéki csalódások lehetősége abból magyarázható, hogy a külső dolgok felőli képzelmeinket, úgy mint azok a megfigyelésnek rendes módjánál helyesek fognának lenni, akkor is képezzük, midőn rendkívüli körülmények a reczegi képeket megváltoztatták. Az, mit itten a megfigyelés rendes módjának nevezek, nem csak arra terjed ki, hogy a fénysugaraknak egyenes irányban kell a világító ponttól a porézshártyáig eljutniok, hanem magában foglalja azt is, hogy szemeinket úgy használjuk, a mint azoknak használtatniok kell, hogy a legtisztább és legjobban megkülönböztethető képeket nyerhessük. Erre nézve szükséges, hogy a szemlélt tárgy határvonalainak egyes pontjait a két reczeg központjain leábrázoljuk, mi mellett szemeinkkel oly mozgásokat viszünk végbe, melyek legbiztosabban engedik a szemeknek különféle állá-

sait összehasonlítani. Minden eltérés e feltételek valamelyikétől csalódást von maga után. Ezek közül legrégebbtől fogva ismeretesek azok, melyek beállanak, ha a fénysugarak, mielőtt a szembe betérnének, törést vagy tükrözést szenvednek. De hiányos alkalmazkodás is, mi alatt egy vagy két finom nyíláson át nézünk, meg nem felelő összehajlás félszemmel való látáskor, a szemtekének félretolódása, ujjal reá gyakorlott nyomás vagy izom-hűtés folytán, csalódásokat okozhatnak a látott tárgyak helyzete iránt. Csalódások támadhatnak tovább még azért, mert az érzésnek bizonyos elemei nem különböztetnek meg eléggé pontosan; ide tartozik nevezetesen a szemek összehajlásának foka, melynek megítélése, a közreműködő izmok könnyen beálló kifáradása következtében, nem biztos. A legegyszerűbb szabály mindezen csalódásokra nézve az: mindig oly tárgyakat hiszünk magunk előtt látni, minőknek jelen lenni kellene, hogy a megfigyelés rendes módja mellett ugyanazon rezeგი képek támadjanak. Hogy ha azonban e képek olyanok, hogy azok a megfigyelésnek semmiféle rendes módjánál nem támadhatnának, akkor ilyenhez legközelebb álló hasonlóság szerint ítélünk, mi mellett az érzésnek biztosan fel nem ismert elemeit könnyebben mellőzzük, mint a biztosan felismerteket. Ha többféle értelmezés egyenlően közel fekszik, akkor többnyire ezek közt önkénytelenül ide s tova habozunk. De e habozás felett is uralkodhatunk, ha szándékosan törekszünk a kívánt képnek képzelmét belérzékileg lehetőleg legjobban szemléletre juttatni.

Nyilvánvaló, hogy ezek oly műveletek, melyeket csalfa behozólagos következtetéseknek lehetne nevezni. Azonban oly következtetések ezek, melyeknél a hasonnemű előzetes észleleteket magunk előtt öntudatosan föl nem soroljuk és meg sem vizsgáljuk, mennyiben jogosultak együttesen azok a következtetés megállapítására. Miért is azokat már máskor öntudaton kívüli következtetéseknek nevez-

tem, s ez elnevezés, mely a tapasztalatos elméletnek más védői részéről is elfogadtatott, sok ellenmondást és megüt-közést keltett, minthogy a szokásos lélektani kimutatás szerint a következtetés öntudatos szellemi életünk működésének mintegy tetőpontját képezi. Mig ellenben valóban a következtetések, melyek érzéki felfogásainknál oly nagy szerepet játszanak, a logikailag elemzett következtetés közönséges alakjában valósággal soha ki nem fejezhetők, és szükséges, hogy a lélektani elemzésnek szokott útjait elhagyva, oldalt térjünk el, hogy meggyőződjünk, miszerint valósággal a szellemi működés ugyanazon nemével van itten dolgunk, mely a közönségesen úgynevezett következtetéseknel tevékeny.

Úgy látszik nekem, hogy a különbség a logikusok következtetései és a behozólagos következtetések közt, melyeknek eredménye a külvilágnak érzéki érzéseink által szerzett szemléleteiben kerül napvilágra, valósággal csak külsőleg létezik és főleg abban áll, hogy ama előbbi következtetések szavakban kifejezhetők, ez utóbbiak nem, minthogy náluk a szavak helyébe csak érzések és az érzések emlékképei lépnek. De épen abban, hogy ez utóbbiak szavakban le nem írhatók, fekszik a nagy nehézség is, a szellemnek ez egész téren való működéseiről egyáltalában még csak szólni is.

Azon tudás mellett, mely fogalmakkal dolgozik, minél fogva szavakban is kifejezhető, van a képzelmi tehetségnek még egy más tere is, mely csak érzéki benyomásokat állít össze, melyek közvetlenül szavakkal ki nem fejezhetők. Nevezük ezt ismerésnek. Ismerünk egy embert, egy utat, egy ételt, egy szagos anyagot, azaz láttuk, izleltük vagy megszagoltuk e tárgyakat, megtartjuk szilárdan ez érzéki benyomást emlékezetünkben és ismét reá fogunk ismerni, ha az ismétlődik, a nélkül hogy képesek lennénk annak leírását magunknak vagy másoknak szavakban adni. Mindennek daczára világos, hogy ez ismerés a legmagasabb fokban határozott és biztos lehet, és e tekintetben semmiféle szavakban kifejezhető tu-

dásnak elsőbbséget nem enged. De nem lehet azt közvetlenül közölni, ha csak az illető tárgyakat elő nem keríthetjük, vagy benyomásukat más módon nem utánozhatjuk, mint például valamely emberre nézve a saját arczépe által.

Az ismerésnek egyik fontos részét képezi, ismerni az izombeidegezést, melyet kifejtetünk kell, hogy testrészeink mozgása által bizonyos eredményt elérjünk. Mindenki tudja, hogy mint gyermekeknek a járást meg kell tanulnunk; hogy később megtanulunk falábon vagy koresolyán járni, vagy lovagolni, úszni, énekelni, idegen nyelveknek új betűit kimondani stb. Csecsemőknek megfigyelése által még megismerjük, hogy azoknak sokféle dolgokat kell megtanulniok, melyekről később el sem képzelhetjük, hogy volt legyen oly időszakasz, midőn azokat még meg nem tanultuk volt, például szemeinket a fény felé irányítani, melyet látni kívánunk. Az ismerésnek ezen nemét hatni, hetni képzőkkel vagy birással (a németben können, a franczia savoir értelmében) fejezzük ki, vagy értésnek, de tudásnak is mondjuk (például tudok lovagolni — a németben Verstehen, például ich verstehe zu reiten). *

Itt is arra kérek ügyelni, miszerint szükséges, hogy az alkalmazandó akaratheli iuditatoknak ismerete a biztosságnak, határozottságnak és pontosságnak legmagasabb fokát elérje, mielőtt oly mesterséges egyensúlyt, mint a járásnál falábon vagy a koresolyázásnál, fentartani képesek vagyunk, vagy mielőtt az énekes gégejével, a hegedűs billegető ujjával

* Jegyzet. Szerző az eredeti szöveg e helyén az illető német kifejezésekre vonatkozólag még ezt mondja: „Az előbbi szó („Können“) állítólag ugyan azon szószármazással bir mint „Kennen“, és az alakbeli rokonság értelmezhető fogna lenni a jelentőségbeli rokonságból. De használjuk e szavunkat „Können“ ott is, hol határozottabban fognánk az igét „vermögen“ alkalmazni (franciául pouvoir), hol tehát erőről és segédeszközről van szó, s nem csak alkalmazásuknak ismeretéről“. A magyarban ezen többi kifejezésnek „vermögen“, megfelel teljesen a már fentebb felemlített „bírás“, „birni“.

képes bizonyos hangot oly pontosan eltalálni, hogy annak lengési tartama még egy fél százalékkal se különbözzék.

Világos továbbá, hogy lehetséges szavak helyett ilyféle érzéki emlékképekkel ugyanazon nemű összekötést létre hozni, melyet, ha az szavakban fejeztetnék ki, állítmánynak vagy ítéletnek fognánk nevezni. Tudhatom például, hogy bizonyos embernek, kinek arcát ismerem, sajátyszerű hangja van, melynek csengésére élénken emlékszem. Biztosan fognam arcát és hangját ezer más közül kiismerni, és mindegyikénél a kettő közül tudni, hogy a másik hozzátartozik. De nem bírom ez állítmányt szavakba foglalni, ha azon emberről még más, fogalmilag meghatározandó ismérvet fel nem hozhatok. Akkor ugyanis mutató névmással segíthetek magamon, mondván: ezen hang, melyet most hallunk, azon emberé, kit ott és akkor láttunk.

De vannak nem csak egyedes (singuläre), hanem általános állítmányok is, melyekben a szavak érzéki benyomások által helyettesítvék. Elégséges, ha csak a művészeti képmásolásnak hatására emlékeztetek. Valamely istenszobor nem fogna reám bizonyos jellemnek, vérmérsékletnek, bizonyos hangulatnak megfelelő benyomást tenni, ha nem tudnám, hogy az olyféle arcvonalzat és arcjáték, minőt az mutat a legtöbb vagy valamennyi esetben, hol az előfordul, ama bizonyos jelentőséggel bir. S hogy az érzéki felfogások terén megmaradjunk, ha tudom, hogy két lábnyira távol és ennyire meg ennyire jobbra álló pontnak rögzítésére a tekintésnek bizonyos módja szükséges, melynél ismét egészen pontosan tudom, hogy miféle beidegzés alkalmazandó, úgy ez is általános állítmány, mely mindazon esetekre illik, melyekben szemeimet színtoly fekvési pontra rögzítettem vagy rögzíteni fogom. Ezen szavakban ki nem fejezhető állítmány azon credmény, melyben arra vonatkozó eddigi tapasztalataimat összefoglalva megtartottam. A következőkzetésben az bármely pillanatban a főtételt — major-t — képezheti, mihelyt beáll azon eset, hogy szemeimet

ismét szintűgy helyezett pontra irányítom és érzem, hogy úgy tekintek, mint ama főtétel mondja. Ez utóbbi észrevétel képezi az altételt — minor-t — és a zártétel — conclusio — kijelenti, hogy az illető helyen a látott tárgy fekszik.

Tegyük pedig fel, hogy azon módon tekintenék, de a stereoskopba benézve. Most tudom, hogy előttem az illető helyen valóságos tárgy nincsen. Mindazáltal az érzéki benyomás reám ugyanaz, mintha ott tárgy jelen volna és e benyomást sem magamnak sem másnak másként ki nem jelölhetem és nem jellemezhetem, mint az által, hogy a benyomás olyan, minő az észlelés rendes módjánál támadni fogna, ha ottan tárgy állana. Ezt jól meg kell jegyeznünk. Az életbuvár képes ugyan a benyomást még másként leírni, a szemek állása, a reczei képek helyzete szerint stb. De nem lehet a meglevő érzést közvetlenül másként meghatározni és jellemezni. Így tehát elismerjük azt csalékony érzésnek, de még sem vagyunk képesek e csalódásnak érzését eltávolítani. Nem vagyunk épen képesek eltörölni a megemlékezést rendes jelentőségére, még ha tudjuk is, hogy az a fenforgó esetben be nem teljesül; épen úgy nem, mint nem vagyunk képesek anyanyelvünk valamely szavának jelentőségét emlékezetünkéből kitörölni, hogy ha az egyszer mint jel vagy jelszó valamely teljesen másféle célra használtatik.

Hogy e következtetések az érzéki felismerések terén annyira kényszerítőleg lépnek előnkbe, mint valami kültermészeti hatalom, és hogy azért úgy látszik, mintha eredményeik minden saját hozzájárulásunk nélkül, a közvetlen felismerésben megadva volnának, szintén nem okoz különbséget köztük és a logikai és öntudatos következtetések közt, legalább azok közt nem, melyek e nevet valóban megérdemlik. A mit ugyanis valamely következtetés levezetésekor önkénytesen és öntudatosan tehetünk, csak abban áll, hogy az előtételekre szükségelt anyagszer teljesen elészerezzük. Mert mihelyt ez anyagszer valósággal teljesen együtt van,

a zártétel is visszautasíthatlanul önmagától beáll. Oly következtetések, melyekről azt hisszük, hogy azokat megtehetjük vagy abban hagyhatjuk, egyáltalában nem sokat érnek.

Miként látjuk, ezen vizsgálatok minket a szellemi működések oly terére vezetnek, melyek tudományos vizsgálatoknál még eddig keveset jöttek szóba, mert nehéz róluk egyáltalában szavakkal beszélni. Még leginkább lettek széptani vizsgálatoknál méltatva, melyeknél azok mint „szemléletesség“, „öntudatonkívüli észszerűség“, „érzéki értelmesség“ és efféle félhomályos elnevezésekben nagy szerepet játszanak. Ellenükben azon téves előítélet áll fenn, hogy azoknak végbemenete homályos, határozatlan, csak félig öntudatos, hogy azok mintegy tisztán gépszerű műveletek az öntudatos és beszéd által kifejezhető gondolkodásnak alárendelve. Nem hiszem, hogy magára a működésnek módjára nézve különbséget lehetne az előbbieket és utóbbiak között kimutatni. A roppant felsőbbiség, melylyel fel a nyelv használatáig érlelt megismerés bír, eléggé magyarázható már abból is, hogy a nyelv egyfelől lehetségessé teszi az egyének millióinak és a nemzedékek ezreinek tapasztalatait összegyűjteni, állandóan megőrizni és folytonos kísérlet útján lassanként mindinkább biztosabbá és egyetemesebbé alakítani. Más felől az emberek megfontolt közös cselekvésének lehetősége is és azzal hatalmuknak legnagyobb része a nyelven alapszik. Mindkét tekintetben az ismerés nem lehet a tudásnak versenytársa, miből szükségképen még nem következik, hogy az első kevésbbé tiszta vagy más természetű volna.

Azok, kik az örökletes elmélethez ragaszkodnak, hivatkozni szoktak az újszülött állatok képességeire, melyek közül sok valóban ügyesebbnek látszik, mint az emberi gyermek. Bizonyos, hogy az utóbbi agyának felülmúló tömege és szellemi fejlődési képessége daczára, a legegyszerűbb feladatokat, mint például hogy szemeit bizonyos tárgy

felé irányítsa, hogy kezeivel a látott tárgyat megfogja, felette lassan tanulja meg. De nem kell-e ebből azt következtetni, hogy az emberi gyermeknek több tanulni valója van, mint az ösztöneitől helyesen vezetett, de le is bilineselt állatnak. Mondják, hogy a borjú a tögyet látja és feléje megyen; de még meg kellene vizsgálni, vajon nem-e inkább csak szagolja azt és folytatja azon mozgásokat, melyek őt ama szaghoz közelebb viszik. Az ilyféle látérzéki képről az emberi gyermek mindenesetre mit sem tud, elég gyakran az emlőtől makacsul elfordul a hibás oldal felé és itt keresi azt. A fiatal csibe igen korán magvak után csipked, de csipked már a tojáshéjban és újból csipked mint látszik csak találomra, midőn a tyúkot hallja csipkedni. Ha aztán esetleg egynéhányszor egy-egy szemre rátalál, úgy lehetséges, hogy az akkor mutatkozó láttérre is megtanul ügyelni, annál hamarabb, minthogy a feladat, melyet egyáltalában élteben megtanulnia kell, igen kicsiny. Az e viszonyok feletti vizsgálatok, vonatkozólag az itt fejtegetett kérdésre, igen kíváncsiak. Eddig, úgy látszik nekem, a meglevő észleletek még nem bizonyítják, hogy az állatok születésüknél fogva többel bírnának ösztönnél, de mindenesetre az ember tőlük épen abban különböz, hogy nála ezen veleszületett ösztönök a lehető legkisebb mértékre vannak leszállítva.

Feltűnő hasonlatosságra találunk egyébiránt a folyamatok ezen egész körével egy másik, önkénytelen választott, nem a természettől adott jelrendszerben, melyet megérteni, mint bebizonyítható, előbb meg kell tanulnunk s ez anyanyelvünk szavaiban áll.

Nyilvánvaló, hogy az anyanyelv első megtanulása sokkal nehezebb foglalkozás, mint sem valamely idegen nyelvnek minden későbbi megtanulása. Egyáltalában azt kell előbb még kitalálni, hogy ezen szóhangok jelek gyanánt szolgálandók és egyidejűleg meg kell találni behozás útján minden egyesnek jelentőségét ugyan azon módon, mint az érzékbeli

érzéseket. S még is látjuk, mint értenek meg a gyermekek már az első év végén egyes szavakat és mondatokat, még ha azokat ki sem mondják. Sőt a kutyák is esetleg ugyan-
azt teszik.

Másfelől ezen bebizonyíthatólag később megtanult összekötés is a név és a tárgy közt, melyhez az tartozik, épen úgy megszilárdul és kikerülhetetlenné lesz, mint az érzések és a tárgyak közti.

Nem tehetjük, hogy valamely szónak rendes jelentőségére ne gondoljunk, még ha az kivételképen más célból egyszer másként használtatik is.

El nem vonhatjuk magunkat a kedélymegindulás alól, melyet valamely költött történet kelt, még ha tudjuk is, hogy az költött; épen úgy, mint ki nem verhetjük eszünk-
ből az érzéseknek jelentőségét, még érzéki csalódás esetében sem, melyet olyannak felismerünk.

Végre még az összehasonlításnak egy harmadik pontja méltó megjegyzésre. A nyelvnek elemi jeleit csak a 24 betű képezi, és minő rendkívül sokféle értelmet fejezhetünk ki és közölhetünk egymásnak azoknak összecsoportosítása által. Gondoljuk pedig meg, hogy összehasonlítva azzal minő roppant az elemi jeleknek kincse, melyeket a látideg-készülék szolgáltat. A látideg-rostoknak számát 250,000-re becsülhetjük. Közülök mindenik képesítve van egy vagy három különböző alapszínnek végtelen sok különböző érzési fokozatára. Ez által természetesen a csoportosítások végtelemszer gazdagabb rendszerét lehet előállítani, mintsem a kevés betűvel, mihez még hozzájárul a látérzéki képek gyors változásának lehetősége. Így nem csodálkozhatunk azon, hogy érzékeink nyelve fokozataiban rendkívül finomabb és dúsabban egyéniesített híreket szállít el hozzánk, mint a szavak.



Ez a látás lehetősége felőli rejtélynek megoldása; még pedig az egyetlen, melyet, a mennyire belátom, az ez idő szerint ismert tények adni engednek. Épen az érzések és tárgyak közti feltűnő és durva egyenetlenségek vonatkozólag úgy a minőségre, mint a helyhezkötésre, kiválóan tanulságosak, minthogy minket a helyes útra készítenek. Sőt még azon életbuvárok is, kik az érzések és tárgyak közti eleve megállapított egyezményességből egyes darabokat megmenteni törekszenek, kénytelenek bevallani, hogy az érzéki szemléletnek valódi befejezése és finomítása a tapasztaláson nyugszik, oly annyira, hogy épen ez utóbbinak kellene véglegesen döntenie ott, hol az netalán a szervnek felvételesen veleszületett alkalmazkodásainak ellentmond. Ez által a jelentőség, mely ilyféle alkalmazkodásoknak netalán még tulajdonítható volna, arra szorítkozik, hogy azok netalán a szemléleteknek első begyakorlását támogatni képesek.

A megegyezés a látérzéki felismerések és a külvilág közt tehát teljesen, vagy legalább főleg ugyanazon alapon nyugszik, melyen nyugszik minden ismeretünk a valóságos világ felől, a tapasztaláson t. i., és az ennek helyessége iránti folytonos vizsgálaton a kísérlet segítségével, mint azt testünk minden mozgásánál végbeviszszük. De természetesen e megegyezés iránt csak is annyira vagyunk biztosítva, a mennyire a vizsgálatnak ezen eszköze telik, ez pedig épen annyira telik, a mennyire azt gyakorlati czélokra szükségeljük. Ezen határokon túl, például a minőlegességek körében, képesek vagyunk részben a meg nem egyezést határozottan kimutatni. Csak az időbeli, űrbeli, egyenlőségi viszonyok, és az azokból lezármaztatott szám nagyság szerinti, szabályszerűségi viszonyok, röviden az, mi mennyiség-tani, közös a kül- és belvilág közt; és ezekre nézve valósággal lehetséges is a képzelmeknek teljes megegyeztetésére a képmásolt tárgyakkal törekedni. De azt gondolom, nem fogunk a kegyes természetre azért neheztelni, mert ezen elvont dolgoknak nagyságát és űrességét egy válto-

zatos jelírásnak tarka pompájával előttünk eltakarta ugyan, de azáltal egyszersmind azt annál hamarabb áttekinthetővé és gyakorlati czélokra alkalmazhatóvá tette, míg az elmékedő szellem érdekében elég látható nyom marad hátra, hogy őt vizsgálatánál arra, hogy mi a jel és mi a kép, helyesen levezesse.

M Ű S Z Ó T Á R.

Behozás, *Induction*; behozólagos következtetések, *Inductions-schlüsse*.

Bekövetkező ellentét, *Successiver Contrast*.

Edényhártya, *Aderhaut*.

Egyenes látás, *Directes Sehen*.

Egyidejű ellentétek, *Simultane Contraste*.

Egyezőtlenések, *Incongruenzen*.

Elettan, *Physiologie*; érzékek —a, *Phys. d. Sinne*.

Ellentétességi tűnemények, *Contrasterscheinungen*.

Erzéki jelek, *Sinnliche Zeichen*; érzéktehetségek, *Sinnesenergien*.

Erzés, *Empfindung*; érzés módjabeli különbség, *Unterschied des Modus der Empfindung*.

Észrehevés, *Wahrnehmung*; —ről szóló tan, *Lehre von den —en*.

Fajlagos érzéktehetségek, *Specifische Sinnesenergien*.

Felelkező pontok, *correspondierende Punkte*.

Fény, *Licht*; —erősség, — ereje, *Lichtstärke*; — érző réteg, *Lichtempfindliche Schicht*; —éter, —*äther*; —szín, —*farbe*.

Hajszálkaes, *Capillarschlinge*.

Ideg, *Nerv*; —rost, —*en faser*; —sejt, —*enzelle*; idegsejtréteg, *Schicht der Nervenzellen*.

Indítat, *Impuls*; akaratbeli —, *Willenspuls*.

Ingerületi állapot, *Erregungszustand*.

Jéglencse, *Krystallinse*.

Jelenség és látszat fogalmai,

Begriffe von Erscheinung und Schein.

Láta (szemesillag, *pupilla*), *Pupille*

Látérezék (látás érzéke), *Gesichtssinn*; —i kép, *Gesichtsbild*; —i felismerés v. észrehevés, *Gesichtswahrnehmung*.

Látérezés, *Gesichtsempfindung*.

Látideg (látó ideg), *Sehnerv*.

Lättér, *Gesichtsfeld*.

Lebegések (lüktetések), *Schwebungen*; hangok —e, *Schw. d. Töne*.

Oldalagos látás, *Indirectes Sehen*.

Öntudaton kívüli következtetések, *Unbewusste Schlüsse*.

Örökletes elmélet, *Nativistische Theorie*.

Összeférhetetlenség, *Incongruenz*.

Reczeg (reczeg-hártya), *Netzhaut*; —gödör, —*grube*; —csapjai, *Zapfen der H.*

Sugárizom, *Ciliarmuskel*. Sugárlemezeke, *Strahlenblättchen*.

Szemlélet, *Anschauung*; —ti képmás, —*sbild*.

Szem optikai készüléke, *Optisches Apparat des Auges*.

Táj-jél, *Localzeichen*; az érzés tájele, *Localz. der Empfindung*.

Tapasztalatos elmélet, *empiristische Theorie*.

Tapérezék, *Tastsinn*; tapidegrost, *Tastnervenfaser*.

Térszemlélet, *Raumanschauung*; térszerinti viszonyok, *Raumverhältnisse*.

Vetélkedés a lätterek közt, *Weltstreit der Sehfelder*.

A TERMÉSZETI ERŐK CSERE-HATÁSAI

ÉS

A PHYSIKANAK IDE VONATKOZÓ LEGÚJABB VIVMÁNYAI.

NÉPSZERŰ TERMÉSZETTUDOMÁNYI ELŐADÁS,

tartatott

Königsbergben, Poroszországban, 1854-ik évi

február 7-ikén.

A physika újabb időben egy általános érdekű vivmánnyal gazdagodott, melynek megismertetése ez alkalommal feladatom leendő. Egy új, általános természeti törvényről lesz itt szó, mely az összes természeti erők működését s egymás iránti kölcsönös viszonyait szabályozza, s mely ép oly fontos elméleti ismereteink szempontjából mint gyakorlati alkalmazása által.

Mióta a középkor az újabb kornak helyet engedett, s a természettudományok gyors fejlődésnek indultak, azóta a

velük egybekötött gyakorlati mesterségek között a technikai mechanika, támogatva a hasonnevű mennyiségtani tudomány által, ugyancsak gyors léptekkel haladt előre. A nevezett mesterség jelleme azon időben természetesen más volt mint most. Meglepetve és elkapatva saját eredményei által, fiatal-kori tűzésben nem kételkedett egy feladat megoldhatásán sem, sőt azonnal a legnehezebbek és legbonyolódottabbakra vetette magát. Így csakhamar sokan nagy szorgalommal fáradoztak élő állatokat és embereket utánzó automaták, előállításán. Vaucanson kacsája, mely evett és emésztett ugyanazon mesternek fuvolása, mely ujjait helyesen mozgatta, az idősebb Droznak író fiúja és a fiatalabbnak zongoraművésznője, mely utóbbi játszás közben kezeit szemeivel követte és az előadás befejezése után felállván, a közönség előtt illedelmesen meghajtotta magát, a mult századnak megannyi csodái voltak. Megfoghatatlan volna, hogy oly férfiak, mint a nevezettek, kiknek képessége századunk legtalálékonyabb elméivel versenyezhet, oly roppant időt és fáradságot, oly bámulatos elmeélt pazaroltak volna az automaták készítésére, ha nem reménylik vala, hogy feladatuk több a gyermekes játéknál, s valóban komolyan is megoldható. Az öregebb Droz író gyermekét még néhány év előtt lehetett látni Németországban. Kerékműve annyira bonyolódott, hogy nem közönséges ész kell működési módjának csak helyes felismerésére is. Ha ezek után azt halljuk, hogy e fiú és szerkesztője a bűvészet gyakorlásával vádoltatván, jó ideig a spanyol inquisitio börtöneiben sínlődtek, és felszabadításukat csak nehezen érték el, úgy ebből azt következtethetjük, hogy e játékszerek emberi hasonlósága ez időben elég nagynak látszott arra, hogy még természetes keletkezésök is kétségbe vonassék. S jóllehet e gépészek talán nem is tápláltak reményt, hogy éles elméjük szülötteibe erkölcsi tökélyekben gazdag szellemet lehellenek, mégis másfelől sokan örömet nélkülöznék szolgálk erkölcsi tökélyeit, ha ezekkel együtt erkölcsi tökéletlenség-

geik is kikerülhetők lennének, s a hús és csont mulandósága helyett a réz és aczél tartósságára tennének szert. E szerint a czél, melyet a mult századok találékony elméi kétségen kívül nagy komolysággal, s nem mulattató játék gyanánt tűztek maguk elé, merészen volt választva, s oly elmeéllel követve, mely nem kis mértékben gazdagította azon mechanikai segédeszközeinket, melyekkel a későbbi korszakok termékeny utakat birtak megnyitni. Ma nem iparkodunk többé oly gépeket szerkeszteni, melyek egy ember ezerféle munkáját végezzék, hanem megfordítva azt követeljük, hogy a gép egyféle munkát, de ezer ember helyett végezzen.

E törekvésből, élő lényeket utánozni — ugyancsak félreértések alapján — egy más eszme fejlődött ki, mely a 17. és 18-ik században jóformán a bülesek kövének szerepét játszotta. Az lett a feladat, perpetuum mobilét előállítani. Oly gépet értettek ez alatt, mely a nélkül hogy felhúzatnék, a nélkül hogy mozgatására lecső víz, szél vagy egyéb természeti erők fordittatnának, magától folytonosan mozgásban maradna, mozgató erejét mindig saját működéséből meritvén. Az emberek s állatok lényegükben az ilyen gép eszméjének megfelelni látszottak, mert a míg éltek, folytonosan és erőteljesen mozogtak, a nélkül hogy valaki által felhúzottak vagy megindítottak volna. A táplálkozás és erő kifejtés közötti kapcsolatról az időben még nem tudtak világosan számot adni. A táplálék jóformán csak azért tartatott szükségesnek, hogy az állati gépezet kerekeinek mintegy kenőcsétől szolgáljon, s legfeljebb azért, hogy visszaállítsa a felhasználtat és megújítsa az elkopottat. Az erő kifejtés önnönmagából a szerves élet lényeges sajátosságának s valódi velejének tekintetett. Ezért kellett annak, ki az embert mesterségesen akarta másolni, előbb a perpetuum mobilét feltalálni.

Ezen kívül mellesleg még egy más remény is keesegtetett, mely a mi eszélyesebb korunkban az emberek érde-

keltségében bizonyára az első helyre tarthatna igényt. A perpetuum mobile ugyanis arra volna hivatva, hogy kimeríthetetlen munkaerőt, megfelelő fogyasztás nélkül, tehát semmiből teremtsen. De a munka pénz. Aranyval kecsgetett a nagy, gyakorlati feladat, mely minden század ravasz főit különböző utakon mozgásba hozta, t. i. a feladat: pénzt semmiből teremteni. A hasonlatosság a bölesek kövével, melyet a régi alchymisták kerestek, tökéletes volt; ettől is azt várták, hogy a szerves élet velejét magában foglalja, s képes legyen aranyat előállítani.

A jutalom, mely keresésre ingerelt, gazdag volt, s a keresők képességét általában nem szabad kicsinyelnünk. Maga a feladat egészen alkalmas volt arra, hogy okoskodó szellemeket hálójába kerítsen, éveken át körben körül vezessen, s a látszólag mindig közelebből intő reménytől folyvást megesalatra, végre az örültségig megzavarjon. De ez agyrémet sehol sem lehetett megragadni. Csaknem lehetetlennek tartom e fáradozások történetének megírását, mert a józanabb fők, mint például az öregebb Droz, maguk meggyőződven kísérleteik eredménytelenségéről, nem szerettek e tárgyról sokat beszélni. A zavartabb elméjük azonban minduntalan hirdették, hogy a nagy eredményhez eljutottak, s mivel állításuk hamissága csakhamar bebizonyult, az egész dolog rossz hirbe jött, s így a nézet, hogy a feladat meg nem oldható, mindinkább általánossá vált. Más oldalról a mennyiségtani mechanika az ide tartozó feladatok egyikét a másik után megoldotta, s végre általánosan és szigorúan bebizonyította, hogy legalább tisztán mechanikai erők használata mellett, a perpetuum mobile előállítása nem lehetséges.

E helyen a gépek mozgató erejének vagy munkaerejének fogalmára jutottunk, melylyel később még sok dolgunk leend. Meg kell tehát értelmét magyaráznom. A munka fogalma a gépekre bizonyára csak át lett véve, a mennyiben működésük az emberek és állatok működésével hason-

littatott össze, melyeknek helyettesítésére rendeltetve vannak. A gőzgépek munkáját még ma is lőerők szerint szokás megbecsülni. Az emberi munka értékét részben a vele járó erő kifejtés szerint (az erősebb munkást többre becsülik), részben a kifejtett ügyesség szerint állapítják meg. Egyes munkásokat nem lehet rögtön a kellő számban teremteni; képesítésre és oktatásra van szükségök, és kiművelésök időt és fáradságot igényel; a gép ellenben, ha valamiféle munkát jól elvégez, mindenkor kellő számban állitható elő, ezért ügyességének oly túlnyomó értéke nincs, mint az emberi ügyességnek oly tereken, hol gépek által nem helyettesíthető. A munka-mennyiség fogalma ez okból kizárólag az erő kifejtés becsülésére szorítkozik, s ez azért is fontos, mert a legtöbb gép tetteleg arra van rendeltetve, hogy hatásainak erőssége által az embert és állatot fölülmulja. Ez okból a munka fogalma mechanikai értelemben az erő kifejtés fogalmával vált azonossá, s így fogom azt a következőkben használni.

De miként lehet az erő kifejtést mérni s különböző gépeknél összehasonlítani?

Kénytelen vagyok itt önöket rövid időre a mennyiség-tani mechanikai fogalmak rideg mezejére vezetni, hogy ezen át oly álláspontra juthassunk, melyről gazdagabb kilátás nyílik szemeink előtt; s bár a példa, melyet kiindulási pontul választok: „vizi malom vashámmal“ maga még elég regényes színezetű, sajnálkozásomra mégis kényszerítve vagyok az árnyas völgyet, a tajtékzó patakot, a szikrázó kürtöt s a fekete cyclópokhoz hasonló alakokat hallgatással mellőzni, s a figyelmet egy pillanatra a gépszerkezet kevésbé költői részleteire irányítani. Egy vizikerék hajtja, melyet lecső víztömegek mozgatnak. A vizi kerék tengelye helyenként kis nyujtványokkal, fogakkal van ellátva, melyek a forgás közben a súlyos kalapácsok nyeleit megfogják, előbb felemelik s aztán újra leejtik. Az első kalapács az alája tolt fémtömeget munkálja meg. A munka tehát, melyet

a gép ez esetben végez, abban áll, hogy a kalapács tömegét emeli, mit csak e tömeg nehézségének legyőzése által tehet. Erőkifejtése tehát, egyébként megegyező körülmények között, mindenek előtt a kalapács súlyával lesz arányos, tehát péld. kétszeres lesz az oly gépnél, mely kétszeres súlyt emel. De a kalapács hatása nem csak a súlytól, hanem azon magasságtól is függ, melyről leesik. Ha két lábnyira esik, úgy hatása nagyobb lesz, mintha csak egy lábnyira esett volna. Világos azonban, hogy ha a gép a kalapácsot bizonyos erőkifejtés mellett egy lábbal emelte, úgy még egyszer kénytelen ugyanazon erőkifejtést gyakorolni, hogy azt egy második lábbal magasabbra emelje. A munka tehát nem csak akkor lesz kétszeres, midőn a kalapács súlya kétszeressé válik, hanem akkor is, midőn az esési magasság kétszeressé válik. Látjuk ebből, hogy a munkát az emelt súly és az esési magasság szorzata által kell mérnünk. A mechanika tetteleg így méri azt. A munka mértékét egy lábfontnak nevezi, a mi tehát nem egyéb, mint azon erőkifejtés, mely arra szükséges, hogy egy fontnyi súly egy lábbal magasabbra emeltessék.

Mig tehát vashámorunk munkája abban áll, hogy a súlyos kalapácsok felemeltetnek, addig a mozgató erő, mely a gépet hajtja, a leeső víztömegek által hozatik létre. Nem szükséges erre, hogy a víz mindig merőlegesen essék alá, gyengén hajlitott mederben is folyhat lefelé; a lényeges csak az, hogy ott, hol vízi malmokat kell hajtania, magasabb helyről mélyebb felé mozogjon. A tapasztalat és az elmélet egyaránt arra tanítanak, hogy valahányszor egy mázsás kalapácsot egy lábnyira kell emelni, arra mindig legalább egy mázsa víznek kell egy lábbal alább esni, vagy a mi azzal egyenértékű, két mázsának egy fél lábbal, vagy négy mázsának egy negyed lábbal s i. t. Egy szóval, ha a leeső víz súlyát esése magasságával szorozzuk, s e szorzatot a víz munkájának mértékéül tekintjük, hasonlóan mint azt a kalapácsra nézve tettük, úgy a gép által a kalapács emelése közben végzett munka, lábfontokban kifejezve, legjobb esetben

is csak ép oly nagy lehet, mint az ugyanazon idő alatt aláeső viz munkájában foglalt lábfontok száma. A valóságban ez eredmény nem is lesz elérhető; az aláeső viz munkájának nagy része használatlanul vész el, s pedig leginkább azért, mert a nagyobb sebesség kedvéért a mozgató erő egy részét örömetest feláldozzuk.

Hozzá teszem még azt, hogy e viszony ugyanaz marad, a kalapácsokat akár közvetlenül a vízi kerék tengelye mozgatná, akár e kerék mozgása közbeiktatott fogas kerekek, végtelen csavarok, esigák és kötelek által vitetnék át a kalapácsokra. Ily eszközök által ugyan elérhetjük azt, hogy a vízmű, mely első, egyszerű berendezésében csak egy mázsás kalapácsot emelhetett, képesítve lesz tíz mázsásat emelni, de e mellett azt fogjuk látni, hogy e nehezebb kalapácsot vagy csak a magasság tizedrészére emeli, vagy az emelésre tizszer annyi időt igényel, úgy, hogy végre is bármennyire fokoznók gépművek által a működő erő erősségét, azért mégis bizonyos idő alatt, míg a patak bizonyos víztömeget szolgáltat, mindig csak egy bizonyos nagyságú munka fog végeztetni.

Gépünk tehát egyelőre nem tett egyebet, mint felhasználta az aláeső viz súlyát a kalapácsok súlyának legyőzésére és emelésére. Mihelyest a kalapácsot kellő magasságra emelte, azonnal elbocsátja; ez ekkor leesvén, az alája tolt fémtömegeket kikészíti. De miért gyakorol a leeső kalapács nagyobb hatást, mint akkor, ha csupán súlyával hagyjuk ama fémtömegekre nehezedni? Miért növekszik hatása a magassággal, melyről aláest, s így a sebességgel, melyet esése közben elért? Azt látjuk itt, hogy a kalapács munkaképessége sebességével függ össze. Mozgatott tömegek sebessége más alkalommal is czélszerű eszközül szolgálhat nagy hatások létrehozására. Csak a kilőtt puskagolyók romboló hatásaira kell emlékeztetnem, melyek nyugvó állapotban a legártatlanabb tárgyak; vagy a szélmalomokat hozhatnám fel, melyek a hajtóerőt a mozgatott levegőtől kölcsönzik. Valóban meg-

lephet az, hogy a mozgás, mely az anyagi testeknek jóformán lényegtelen és mulandó tulajdonául tűnik elő, oly roppant hatásokat bir gyakorolni. A mozgás azonban a rendes körülmények között csak azért látszik annyira mulandónak, mert a földi testek mozgásait folytonosan ellenálló erők, surlódás, légellenállás s t. e. akadályozzák, úgy, hogy folytonosan gyöngülvén, végre megszűnnek. Az oly test ellenben, melyet ellenálló erők nem akadályoznak, egyszer mozgásba hozva, örökké változatlan sebességgel mozog tovább. Így, tudjuk, hogy a bolygók a világűrűt évezredek óta változatlan utakon szelik át. Csak ellenálló erők képesek a mozgást lassítani vagy megszüntetni. Minden mozgatott test, ha másikba ütközik, ezt az ütő kalapács vagy kilőtt golyó módjára összenyomja, s belehatol mindaddig, míg az ellenálló erők, melyeket a megütött test összenyomatásának vagy részei szétválasztásának ellenében kifejt, elég nagy arra, hogy a kalapács vagy golyó mozgását megsemmisítse. Valamely tömeg mozgását, a mennyiben az munkaerőt képvisel, e tömeg eleven erejének nevezzük. Az „eleven“ szó itt természetesen nem élő lényekre vonatkozik, hanem csak a mozgásban rejlő erőnek megkülönböztetésére a változatlan megmaradás nyugodt állapotától, melyben például a nyugvó test súlya szunyad, midőn alapjára bár folytonosan nyomást gyakorol, de mozgást létesíteni nem képes.

Ekként a vashámorban a munkaerőt először az esőviz, másodszor az emelt kalapács, s végre harmadszor az eső kalapács eleven erejének alakjában látjuk. A munkaerő ezen harmadik alakját ismét a másodikba alakíthatnók át, ha a kalapácsot nagyon ruganyos aczél rúdra ejtetnők, mely elég erős lenne, hogy ütésének ellenálljon. Ez esetben visszapattanna az, és pedig legjobb esetben ép oly magasságra, mint a minőről aláesett, de soha magasabbra. Tömege tehát újra felemelkedvén azon pillanatban, midőn legmagasabb állását elérte, a lábfontok ugyanazon értékét képviselné, mint az esés előtt, de nagyobbab sohasem, tehát más szavakkal: az

eleven erő ép oly nagy munka mennyiséget képes előállítani, mint az, a melyből keletkezett. Ez eleven erő tehát eme munkával egyenértékű.

Fali óráinkat súlyok, zsebóráinkat felhúzott rugók mozgatják. A súly, mely a földre ért, vagy a rugó, mely meglazult, hatást többé létre nem hozhat; erre szükséges, hogy a súlyt előbb felemeljük vagy a rugót megfeszítsük. Ez történik akkor, midőn óráinkat felhúzzuk. Az ember, midőn az órát felhúzza, ennek súlyával vagy rugójával bizonyos munkaerőt közöl, s az a következő huszonnégy órában apránként éppen annyit ad ki, mint a mennyi vele felhúzás közben közöltetett, e munkaerőt lassanként a kerekek surlódásának s az ingára gyakorolt ellenállásnak legyőzésére használván fel. Az órának kerékműve tehát nem teremt új munkaerőt, hanem csak a vele közöltet hosszabb időre egyenletesen elosztja.

A szélpuska agyába, nyomó szivattyú segélyével, beszerünk sok levegőt. Ha azután a csapot megnyitjuk, s a megsűrített levegőt a puska csőbe eresztjük, úgy az a belé tett golyót hasonló hatalommal hajtja ki, mint a meggyuladt puskapor. Meghatározván a munkát, melyet a lég szivattyúzása közben végeztünk és az eleven erőt, mely a golyóval kilövetésekor közöltetett, azt fogjuk találni, hogy ez utóbbi soha nem nagyobb az elsőnél. Az összenyomott lég nem teremtett munkaerőt, hanem csak a benne rejlőt adta át a kilőtt golyónak. S míg mi a puska megtöltése végett talán egy negyedóraig szivattyúztunk, addig e munkaerő a kilövés néhány másodpercében használtatott fel, s így, mivel működése ily rövid időre volt összpontosítva, a golyóval sokkal nagyobb sebességet közölt, mint azt karunk egyszerű hajtás által tehette volna.

E példákbl láthatjuk azt, mit a mennyiségtani elmélet a tisztán mechanikai, azaz tisztán mozgató erőkre nézve kimutatott, hogy t. i. összes gépeink és eszközeink hajtó erőt nem teremtenek, hanem csak más alakban felhasználják a

munkacrőt, melyet velük vagy az általános természeti erők, a leeső víz és a mozgó szél, vagy az emberek és állatok izomerői közöltek. Mióta e törvényt a mult század nagy matematikusai megállapították, azóta csak zavaros s tanulatlan elmék foglalkozhattak az oly perpetuum mobile keresésével, mely tisztán mechanikai erőknek, nehézség, ruganyosság, folyadékok és gázok nyomásának használatára lenne alapítva. De ezeken kívül még tág terét ismerjük az olyan természetierőknek, melyeket mint a hőt, elektricitást, fényt, magnetismust s a vegyrokonság erőit tiszta mozgató erőknek nem tekinthetünk, s melyek a mechanikai folyamatokkal mégis a legváltozatosabb összeköttetésben állanak. Alig ismerünk természeti folyamatot, melynél mechanikai hatások nem jönének létre, s melyből mechanikai munka nem nyerethetnék. A perpetuum mobile kérdése tehát e téren még nyitva állott, s épen e kérdésnek eldöntése képezi az újabb physika leglényegesebb haladását, melyről ígéretem szerint szólanom kell.

A szélpuskánál az ember karja volt az, mely a levegőt beszívattyúzván, a kilövésre szükséges munkát előállította. A közönséges tüzpuskáknál ellenben a golyót kihajtó, megstűritett gáztömeg a puskaapor elégeése által, tehát egészen más úton jó létre. A puskaapor ugyanis elégeésekor nagyrészt gázalakú égési terményeket szolgáltat, melyek sokkal nagyobb térbe törekeshnek kiterjeszkedni, mint a milyen előbb a por térfogata volt. Látjuk ebből, hogy a puskaapor használata azon munkától kimél meg, melyet a szélpuskánál karunkkal kellett volna végeznünk. Leghatalmasabb gépünkben, a gőzgépben ugyancsak erősen összenyomott gázalakú testek, a vizgőzők azok, melyek terjeszkedő törekvésük által a gépet mozgásba hozzák. Itt sem használunk külső mechanikai erőt a gőzők megstűritésére, hanem a zárt gőzkatlanban foglalt vízhez hőt vezetvén, azt gőzzé változtatjuk, mely helyszüke miatt azonnal erős nyomás alatt keletkezik. A hő tehát azon tényező, mely ez esetben a mechanikai erőt elő-

teremti. Ezen, a gép fűtésére szükséges hőt több, különböző módon tudnók előállítani; legegyszerűbben a szén elégetése által.

Az égés vegyi folyamat. Léggörünk egyik alkatrészének, az oxigénnek hatalmas vonzó ereje, vagy mint a vegyész szokta mondani, nagy rokonsága van az éghető testek alkatrészeihez; de az többnyire csak magasabb hőmérséknél bír hatásossá válni. Mihelyest valamely éghető testnek, például a kőszénnek egy része kellőleg felmelegedett, a szén azonnal hevesen egyesül a léggör oxigénjével azzá a sajátos gázalakú testté, melyet szénsavnak nevezünk, s mely a pezsgő sör, vagy a champagne-i bor belsejéből felszáll. Ezen egyesüléskor hő és fény keletkezik, a mint egyáltalában nagy vegyrokonságú testek egyesülésekor hő mindig, s ha a hőmérsék az izzás fokáig emelkedik, fény is keletkezik. A gőzgépnél tehát végre is vegyi folyamatok s vegyi erők azok, melyek bámulatos munkaképességét létrehozzák. A lőpor elégeése ugyanesak vegyi folyamat, mely a puskában a golyónak eleven erőt kölcsönöz.

Míg a gőzgép a hőt mechanikai munkává alakítja, az alatt mechanikai erőkből hőt is állíthatunk elő. Minden ütés, minden surlódás megteszi ezt. Az ügyes kovács a vaséket pusztán kalapácsolás által izzásba bírja hozni; kocsikerekeink tengelyeit csak folytonos kenés által óvhatjuk meg a surlódástól származó meggyulladás veszélyétől. Sőt e folyamat nagyobb mérvekben már gyakorlati használatra is talált. Egyes gyárakban, melyek felesleges vízerővel rendelkeztek, arra használták ezt, hogy két nagy vaskorong, melyek közül az egyik tengelye körül forgott, kölcsönös surlódás által erősen felhevíttessék. Az így nyert hő a szobát melegítette, s így e szerkezet, tüzelő szer nélkül, kályhával szolgált. Nem lehetne-e ebből kiindulva a korongokban keletkező hőt egy kis gőzgép fűtésére használni, mely viszont képes volna a korongok mozgását fenntartani? Hisz akkor a perpetuum mobile fel volna találva. E kérdést csakugyan fel lehetett állítani, s azt a régi mennyiségtani mechanikai kutatások alapján eldönthető

nem is volt. Előre megemlítem, hogy az általános törvény, melyet önök előtt kifejtteni szándékozom, e kérdésre nemmel fog felelni.

Rövid idővel ezelőtt egy vállalkozó amerikai, Európa iparos köreit ehhez hasonló tervvel hozta izgalomba. A közönség előtt a magneto-elektrikus gépek mint csúszos betegségek gyógyszerei ismeretessé váltak. Az ily gép mágneseit gyors forgó mozgásba hozván, erős elektrikus folyamatot nyerünk. Ha e folyamatot vizen vezetjük át, úgy az két alkatrészére, az oxigénre és hydrogénre bontatik. A hydrogén elégetése újra vizet képez. Ha ez elégetés nem a légköri levegőben, mely csak ötödrészből áll oxigénből, hanem tiszta oxigénben történik, úgy a lángba darabka krétát helyezvén, ez fehér izzó lesz s a nap fényéhez hasonló Drummond-féle fényt adja. E láng egyidejűleg jelentékeny hőt fejleszt. Amerikai emberünk a víz elektrikus elbontása által nyert gázokat ily módon akarta értékesíteni, s azt állította, hogy elégetésüknél elég hőt nyert arra, hogy azzal egy kis gőzgépet fűtsön, mely a magneto-elektrikus gépet hajtván, a vizet elbontaná s így fűtő anyagát maga folytonosan előállítaná. Valóban a világ legpompásabb felfedezése volna ez, egy perpetuum mobile, mely a mellett, hogy hajtóerőt állít elő, még a napfényvel mérkőző fényt is teremtené s szobáinkat is melegítené. A dolog nem is volt rosszul kigondolva. A kijelölt folyamat minden egyes íze lehetségesnek látszott, s csak azok, kik már akkor foglalkoztak a mai tárgyunkra vonatkozó physikai buvárlatokkal, mondhatták az első hírek hallatára, hogy az egész dolog a mesés Amerika regéinek sorába tartozik; s később valóban kitűnt, hogy az egész dolog csak mese volt.

Szükségtelen még több példát egymásra halmozunk. Látjuk már az eddigiekből, mily szoros az összeköttetés egyrészt a hő, ruganyosság, magnetismus, fény és vegyrokonság, másrészt a mechanikai erő között.

A természeti erők eme változatos nyilvánulási módjainak mindenike képes mind a többit mozgásba hozni, még pedig többnyire nem csupán egy, hanem több, különböző uton. Mint a takács remekműve,

Hol e g y lépésre száz fonal jár,
Vetéllő röpköd izibe,
Láttatlan hajlik szálba szál,
Száz kapcsol egy ütés talál. *

Világos azonban, hogy ha bármi módon sikerülne mechanikai erők által az amerikai tervének értelmében vegyi, elektrikus vagy egyéb folyamatokat létre hozni, melyek valami körúton, a gép tömegeinek állandó megváltoztatása nélkül újra mechanikai erőket, még pedig nagyobb mennyiségben állítanának elő, mint a mennyi eredetileg felhasználott: úgy a nyert erő egy részét arra lehetne használni, hogy a gépet mozgásban tartsa, a munka fölöslegét pedig más tetszőleges célokra lehetne használni. A ki a természeti erők bármiféle, bonyolódott csere-hatásainak felhasználásával, mechanikai folyamatokból kiindulva, felfedezte volna a körutat, melyen vegyi, elektrikus, magnetikus és thermikus folyamatokon át ismét mechanikaiakhoz lehet jutni, s pedig úgy, hogy e körúton a mechanikai munka mennyisége szaporodjék, — az a perpetuum mobilét megtalálta volna.

Az első kísérletek sikertelensége azonban óvatosságra intett s a legtöbbeket kijózanította. Így nem is történt sok kísérlet oly szerkezetek előállítására, melyek a perpetuum mobilé-t credményezték volna, hanem a kérdést megfordították. Nem kérdezték többé azt: miként kellene a természeti erők ismert és ismeretlen összeköttetéseit felhasználni arra, hogy perpetuum mobile készítettessék? hanem inkább azt: mily összeköttetéseknek kell a természeti erők között fennállani akkor, ha azok a perpetuum mobile lehetőségét kizárják?

* Goethe: „Faust“, fordította Dóczi Lajos

A kérdés ezen megfordításával minden meg volt nyerve. Könnyű dolog volt a természeti erők azon összeköttetéseit megállapítani, melyek az utóbbi feltevésnek megfelelnek; s valóban kitűnt, hogy az erők minden ismert összeköttetései ama feltevés követelményeinek eleget tesznek, s kitűnt, hogy még egyéb, addig ismeretlen összeköttetéseknek is kell fennállani, melyeknek tényleges valósága még további vizsgálat feladata volt. Ha azok közül bár csak egy helytelennek találtatott volna, úgy ez a perpetuum mobile lehetőségét bizonyítaná.

Az első, ki e térre lépett, egy francia volt, S. Carnot, 1824-ben. Daczára annak, hogy tárgyát nagyon korlátozott szempontból fogta fel, s hogy a hőre vonatkozó hamis nézete néhány téves következtetésre juttatta, fáradozása még sem volt eredménytelen. Egy törvényt sikerült megállapítania, mely ma nevét viseli, s melyről még utóbb szólni fogunk.

Munkája sokáig jóformán tekintetbe sem vétetett, s csak 18 évvel később, 1842-től fogva jöttek mások, más országokban, Carnot-tól függetlenül ugyanazon gondolatra. Az első, ki az általános természeti törvényt, mely itt szóban forog, helyesen felismerte és kimondotta, egy német orvos Mayer J. R. volt 1842-ben. Kevéssel később 1843-ban egy dán tudós, Colding, a kopenhágai akademiánál egy értekezést nyújtott be, mely ugyanazon törvényt mondotta ki, s néhány kísérletsorozatot foglalt magában további kifejtésére. Angliában ugyanakkor Joule kezdett kísérleteket tenni, melyek ugyanazon kérdésre vonatkoztak. Oly kérdésnél, melyeknek kidolgozását a tudomány fejlődésének menete követeli, gyakorta találjuk azt, hogy többen, egymástól függetlenül, lényegében véve, ugyanazon eszmék sorozatát teremtik.

Magam is, a nélkül hogy Mayer-ről vagy Colding-ról valamit tudtam volna, és Joule kísérleteivel is csak dolgozatom vége felé ismerkedvén meg, ugyanazon térre

léptem; különösen pedig a különböző természeti erők azon összeköttetéseivel foglalkoztam, melyekre a kijelölt szempontból következtetni lehetett. Kutatásaim eredményét 1847-ben egy kis könyvecskében „az erő megmaradásáról“* ezim alatt tettem közzé. Az érdek, melylyel a tudományos közönség e tárgyat felkarolta, azóta folytonosan növekedett, különösen Angliában, mint arról mult nyáron ottani tartózkodásom alatt magam is meggyőződtem. A jelentékeny következtetések, melyek ama felfogási módból folytak, s melyek az első idevágó elméleti dolgozatok idejében kísérletileg még bebizonyítva nem voltak, azóta nagyrészt kísérleti igazolásra találtak. Sokat tett ez irányban Joule, a lefolyt évben pedig Regnault, a franczia physikusok legjelesbike, ki ugyan csak ez álláspontra lépett, s megerősítéséhez a gázok fajhőinek vizsgálata által jelentékenyen hozzájárult. Igaz, hogy néhány fontos elméleti következtetésre nézve még hiányzik a kísérleti igazolás; de a bizonyítékok száma már oly jelentékeny, hogy talán nem lesz korán, ha e tárgyat nem tudományos közönséggel is megismertetni iparkodom.

Hogyan dőlt el a szóban forgó kérdés, azt már az előadottak alapján gyaníthatják. A természeti folyamatok egész sorozatában nincs oly körút, melyen megfelelő fogyasztás nélkül mechanikai erőt lehetne nyerni. A perpetuum mobile lehetetlen marad. Ez által azonban elmélgéseink magasabb érdeket nyernek.

Az erő kifejtést természeti folyamatok útján eddig csak az emberi haszon szempontjából, mint a gépek munkaczejét, vettük tekintetbe. Most azt látjuk, hogy általános természeti törvényre jutottunk, mely érvényes egészen függetlenül azon alkalmazástól, melyre az ember a természeti erőket fordítja. Szükséges tehát, hogy e törvény kifejezési módját annak általános jelentőségéhez alkalmazzuk. Mindenekelőtt világos,

* Ueber die Erhaltung der Kraft, eine physikalische Abhandlung, von Dr. H. Helmholtz, Berlin 1847.

hogy azon munkát, mely valamely folyamat útján a gépben bizonyos körülmények között kifejtethető, s az előbb kijelelt módon megmérhető, minden egyéb esetben az erő általános mértékéül használhatjuk. Ezután előáll a fontos kérdés, hogy ha már a munkaerő mennyiségét megfelelő fogyasztás nélkül nem nagyobbíthatjuk, nem kisebbedhetik-e az, vagy nem veszhet-e egészen el? Gépeinkre nézve igenis elveszhet, mihe-lyest elmulasztjuk az alkalmat arra, hogy a természeti erők-ből hasznót huzzunk, de nem veszhet el, mint azt látni fog-juk, az egész természetre nézve.

A régi mechanika két test egymáshoz ütközésére és surlódására nézve azt vette fel, hogy a közben eleven erő vész el. Már előbb kiemeltem azonban, hogy minden ütközés-nél és minden surlódásnál hő keletkezik, sőt *Joule* kísérle-tileg kimutatta ama fontos törvényt, hogy valahányszor egy lábfontnyi munka elvész, ennek megfelelőleg mindannyiszor ugyanazon hőmennyiség keletkezik, s hogy megfordítva valahányszor hő által munka nyeretik, minden nyert lábfont-nyi munkának megfelelőleg, ugyanazon hőmennyiség tűnik el. A hőmennyiség, mely egy font víznek hőmérsékét a százfokú (Celsius-féle) hőmérő egy fokával emeli, azon mun-kaerőnek felel meg, mely által egy fontnyi súlyt 1350 lábnyi magasságra lehet emelni; e mennyiséget a hő mechanikai egyenértékének nevezzük. Itt meg kell említenem azt is, hogy e tények szükségképen azon eredményre vezetnek, mi-szerint a hő nem valami finom, meg nem mérlegelhető anyag, mint azt azelőtt csaknem általánosán gondolták, ha-nem, hogy inkább a fényhez és hanghoz hasonlóan a leg-kisebb testrészek bizonyos mozgásában áll. E nézet szerint a surlódásnál és ütközésnél az egész tömegnek látszólag elveszett mozgása a legkisebb részek mozgásába alakul át, s megfor-dítva a hajtó erőnek hő által keletkezésekor a legkisebb részek mozgása az egész tömeg mozgásává válik.

Vegyí egyesülések által hő keletkezik, s mennyisége egészen független az időtartamtól s a fokozatoktól, melye-

ken át az egyesülés létrejön, feltéve, hogy egyidejűleg más hatások közbe nem lépnek. Ha azonban, mint a gőzgépnél, egyidejűleg mechanikai munka is végeztetik, úgy annyival kevesebb hőt nyerünk, a mennyi e munkának megfelel. A vegyi erők munkamennyisége különben rendesen nagyon jelentékeny. Így például egy font legtisztább szén elégetése annyi hőt szolgáltat, mely 8086 font víznek hőmérsékét a százfokú hőmérő egy fokával magasabbra képes felhevíteni; miből számítás útján azon eredményre jutunk, hogy az egy font szén és az elégetésére szükséges oxigén legkisebb részei között működő vonzó erő 100 font vizet $4\frac{1}{2}$ mért-földnyi magasságra bír emelni. Sajnos, hogy gőzgépeink útján e munkának csak igen kis részét bírjuk valóban érvényesíteni, mert legnagyobb része hő alakjában reánk nézve haszon nélkül vész el. Még a legjobb expansiós gőzgépek is csak 18 százalékát alakítják mechanikai munkává azon hőnek, melyet a tüzelő anyag szolgáltat.

A többi ismert physikai és vegyi folyamatoknak hasonló vizsgálata azon eredményre vezetett, hogy az egész természetben bizonyos hatásra képes erőkészlet van, mely semmi módon sem gyarapodhatik vagy kisebbedhetik, s hogy így a hatásra képes erőmennyiség a szervesetlen természetben ép úgy örök és változatlan, mint az anyag mennyisége. Ez általános törvényt ily alakban kimondva, az erő megmaradása elvének neveztem.

Mi emberek emberi czélokra munkaerőt nem teremthetünk, hanem azt csak a természet nagy készletéből merit-hetjük. Az erdei patak és a szél, melyek malmainkat hajtják, az erdő és a köszénteleg, melyek gőzgépeinket mozgatják s szobáinkat fűtik, csak a természet nagy erőkészletének egy részét adják át, melyet czéljainknak megfelelőleg használni, s hatásaiban önkényünk szerint vezérelni iparkodunk. A malom tulajdonosa a lefolyó víz nehézségét, vagy a tovaszálló szél eleven erejét tulajdonának tekinti. A természet

általános erőkészletének ezen részei azok, melyek birtokát értékessé teszik.

Azonban ama tételből, miszerint a munkaerő legkisebb részlete sem veszhet egészen el, nem következik az, hogy a munkaerő egy része emberi czélokra nézve haszonvehetlenné ne válhatnék. Fontosak ez irányban azon következtetések, melyeket W. Thomson a már előbb említett Carnot-féle törvényből vont. E törvény, melyet Carnot a hő és munka kapcsolatának keresése közben talált, s mely az erő megmaradása elvének következtetései közé nem tartozik, sőt azzal csak azóta nem ellenkezik, mióta Clausius ez értelemben átalakította, bizonyos összefüggést állapít meg a testek összenyomhatósága, hőfogatósága és meleg általi kiterjedése között. Bár e törvényt tetteleg teljesen bebizonyítottunk tekintenünk nem lehet, mégis nem tagadhatjuk, hogy az nagy valószínűséget nyert azon sajátosságos tények által, melyeket belőle következtettek s melyek utóbb kísérletek útján helyeseknek bizonyultak. A Carnot által először felállított matematikai kifejezésen kívül még a következő általános alakban mondhatjuk azt ki: „Csak midőn hő valamely melegebb testből hidegebbe megy át, csak akkor s pedig akkor is csak részben, lehet azt mechanikai munkává átalakítani.“

Valamely test hevét a hatásnak más alakjába, például mechanikai, elektrikus vagy vegyi folyamatokba át nem változtathatjuk, ha azt lehűteni többé nem tudjuk. Így gőzgépeinknél az izzó szén hevének egy részét munkává alakítjuk, oly módon, hogy azt a kazán kevésbé meleg vizébe hagyjuk átmenni; de egyáltalában nem tudnánk hőt munkává átalakítani, ha a természet minden teste egy és ugyanazon hőmérsékkel bírna. A világegyetem erőkészletét ez értelemben két részre oszthatjuk, az egyik oly hő, mely mindig hő marad, a másik, melyhez a melegebb testek hevének egy része s a vegyi, mechanikai, elektrikus és magnetikus erőknél egész készlete tartozik, a legváltozatosabb

átalakulásokra képes, s a természet folyamatainak gazdag különféleségét tartja fenn.

A melegebb testek heve azonban folytonosan törekszik vezetés és sugárzás útján a kevésbé melegekre átmenni, s így hőmérséki egyensúlyt előállítani. A földi testek mozgása közben surlódás és ütközés által a mechanikai erő egy része mindig hőbe megy át, melynek csak bizonyos része alakulhat újra vissza; ugyanaz történik rendszeren a vegyi és elektrikus folyamatoknál is. Ebből az következik, hogy az erőkészlet első része, az átalakulásra képtelen hő, a természeti folyamatok mindegyikénél növekszik, a második pedig, t. i. a mechanikai, elektrikus és vegyi erők készlete folytonosan kisebbedik; úgy, hogy ha a világegyetem e physikai folyamatot zavartalanul követi, végre egész erőkészlete hővé fog alakulni, s egész heve a hőmérséki egyensúly állapotába fog jutni. Ez állapotban minden további változás lehetősége ki lesz merítve s a természeti folyamatoknak teljes szünetelése fog beállani. Ha majdan a nap magasabb hőmérsékét s azzal együtt fényét elvesztette, ha a földfelület összes alkatrészei azon vegyi összeköttetésekbe léptek, melyekre vegyrokonságaik által kényszerítettnek, akkor a növények, emberek és állatok élete sem fog tovább fennállhatni. Akkor a világegyetem örök nyugalomra lesz kárhoztatva.

Carnot törvényének ezen következménye természetesen csak azon esetben áll fenn, ha maga a törvény további vizsgálatnál általános érvényűnek fog mutatkozni. A kilátás azonban arra, hogy ez ne legyen így, vajmi csekély. Mindenestre bámulnunk kell Thomson éleselműségét, melylyel egy már régebben ismert rövid matematikai egyenlet betűiből, melyek csak hő, térfogat és nyomásról szólnak, a világegyetem halálítéletét, bár csak végtelen távol fekvő jövőre, kiolvasni bírta.

Előre megmondottam, hogy utunk egy része a mennyiségtani-mechanikai fogalmak tövises s kietlen terén fog átvezetni. Az utnak e részét hátrahagytuk. Az általános elv,

melyet önök előtt kifejteni iparkodtam, messze elterülő kilátást engedő állaspontra vezetett, melyből tetszésünk szerint az egyik, vagy a másik oldalra tekinthetünk, a merre érdekeltségünk épen irányul. A betekintés a physikusok laboratoriumaiba, kisszerű viszonyaik s bonyolódott elvontságuk mellett, aligha lenne oly érdekes, mint a betekintés a felettünk elterülő égboltozat mélységeibe, a felhők, folyók, erdők s a körülöttünk élő lények törvényszerű működésébe. Ha e közben azon törvényeket, melyek közvetlenül csak a földi testek között véghez menő physikai folyamatokra nézve állapittattak meg, más égi testekre nézve is érvényeseknek fogjuk tekinteni, úgy csak arra kell emlékeznünk, hogy ugyanazon erő, melyet e földön nehézségnek nevezünk, a világegyetemben mint gravitatio működik, s a mérhetetlen távolságú kettős csillagok mozgásában ugyanazon törvényeknek hódol, mint akár a föld és hold között; emlékeznünk kell arra, hogy a földi testek fénye és heve egy lényeges pontban sem különbözik a nap s a legtávolabb álló csillagok fényétől és hevétől; hogy a meteorok, melyek a világűrből időnként földünkre esnek, ugyanazon vegyileg egyszerű anyagokból állanak, mint a földi testek. Nem kell azért tartózkodnunk attól, hogy oly általános törvényeket, melyek az összes földi természetfolyamatokra nézve fennállanak, más égi testekre nézve is érvényeseknek tartunk. Törvényünket tehát arra fogjuk használni, hogy a világegyetem háztartását latásképes erőkészletére vonatkozólag futólagosan áttekintsük.

Bolygó rendszerünk szerkezetének több feltűnő sajátága arra látszik mutatni, hogy az valamikor egy közös forgó mozgással bíró, összefüggő tömeg volt. Hasonló feltevés nélkül ugyanis nem lehetne megmagyarázni, miért keringenek a bolygók mindannyian ugyanazon irányban a nap körül, miért forognak ugyanazon irányban tengelyeik körül, miért esnek pályáik és mellékbolygóik pályái csaknem ugyanazon síkba s i. t. A mult idők ama megmaradt

nyomaira a csillagászok egy feltevést alapítottak bolygórendszerünk keletkezésére nézve, mely bár a dolog természeténél fogva mindig csak feltevés fog maradni, mégis egyes pontjaiban analógiák által annyira indokolva van, hogy figyelmünket méltán kiérdemli, s pedig annál inkább, mivel saját honunkban, e város falain belül, keletkezett. Kant volt az, ki a föld és világegyetem physikai leírása iránt érdeklődve, Newton munkáinak fáradságos tanulmányozásába fogott, s annak bizonyítékául, hogy mily mélyen hatott be alapeszméibe, azon lángeszű gondolatra jött, hogy az anyagnak ugyanazon vonzó ereje, mely ma a bolygókat pályáikban tartja, egykor képes volt a bolygórendszert a világegyetemben lazán szétszórt anyagból képezni. Később Laplace, a Mécanique céleste nagy írója, Kant-tól függetlenül ugyanazon gondolatra jött, s azt a csillagászatban meghonosította.

E szerint bolygórendszerünket és napunkat kezdetben roppant, ködféle tömegnek kell képzelnünk, mely a világűrnek azon helyét töltötte be, hol most rendszerünk áll, messze kiterjedve egész a legtávolabbi bolygó, a Neptun pályájának határain túl. Az égboltozat távol térségein még ma is ködfoltokat látunk, melyeknek fénye a színekép-elemzés tanítása szerint, izzó gázokból ered. E fény színeképében különösen azon fényes vonalak tűnnek elő, melyeket az izzó hidrogén és az izzó nitrogén mutat. Saját naprendszerünk terén belül az üstökösök, a hulló csillagok raja, az állatövi fény szembetűnő nyomait mutatják a porszerűen szétszórt anyagnak, mely a nehézség törvényei szerint mozog, s legalább részben a nagyobb testek által lassanként visszatartatik s azokba bekebeleztetik. Szembetűnőleg történik ez ama hulló csillagokkal és meteorokkal, melyek földünk légkörébe hullanak.

Ila, feltevésünk szerint, bolygórendszerünk tömegének sűrűségét azon időre számítjuk ki, midőn az még csak ködgolyó volt, mely a szélső bolygók pályáig terjedt, úgy

azt találjuk, hogy akkor egy grán súlyú anyag több millió köbmérföldnyi tért foglalt el.

Az anyagnak általános vonzó ereje e tömegeket azonban egymás felé közelíteni s lassanként összesűrűdni kényszerítette, úgy, hogy a ködgolyó mindig kisebb és kisebb lett, mi közben az eredetileg lassú forgó mozgás, melynek lételét fel kell tennünk, mechanikai törvények szerint mindig gyorsabb és gyorsabb lett. A röperő, mely a ködgolyó aequatora közelében bizonyára legerősebb volt, időnként egyes tömegeket szakíthatott el, melyek aztán az egésztől elválva, pályájukat folytatták, s vagy egyes bolygókká, vagy az egészhez hasonlóan mellékbolygókkal és gyűrűkkel egybekötött bolygókká alakultak, míg végre a tömegnek magva a nap testében sűrűdött össze. A hő és fény keletkezéséről e nézet még nem adott felvilágosítást.

Midőn e chaos a többi álló csillagok tömegétől elvált, annak nem csak az összes anyagot kellett magával hoznia, mely a jövő bolygó-rendszer összetételére szükséges volt, hanem itt kifejtett törvényünk értelmében az összes munkaerőt is magában kellett foglalnia, mely majdan a bolygó-rendszert változatos hatásaival gazdagítsa. Az egyes részeknek kölcsönös vonzó ereje már maga roppant hozományt képvisel. Ez erő, mely a földön mint nehézségi erő nyilvánul, a világtűrbeli hatására vonatkozólag égi nehézkedésnek vagy gravitációnak neveztetik. Valamint a földi nehézség egy súlyt a földhöz vonzván, munkát végez s eleven erőt teremt, úgy teszi azt az égi nehézkedés is, midőn két tömegrészt a világtűr távol tájaiból egymás felé közelít.

A vegyi erőknek szintén készen kellett állaniok, hogy hassanak; de mivel ez erők csak a különnemű anyagok benső érintkezésénél lépnek érvényre, világos, hogy előbb sűrűedésnek kellett beállani, mielőtt ezek működésüket megkezdhetnék volna.

Volt-e ama kezdetleges állapotban bizonyos erőképzlet hő alakjában jelen, azt nem tudhatjuk. A hő és munka egyenértékének törvénye szerint ama kezdetleges állapot mechanikai erőiben a hőnek és fénynek valóban oly gazdag forrását találjuk, hogy nincs okunk azt máshol keresni. A mint t. i. a tömegek összesűrűdése közben részecskéik összeütköztek és összetapadtak, úgy az által mozgásaik eleven ereje megsemmisült s hővé alakult. Már régebbi elméletek számba vették azt, hogy kosmikus tömegek összeütközése által hő keletkezik, de hogy mily nagy ezen hőnek mennyisége, azt még közelítőleg sem bírták megbecsülni. Ma annak számértékét teljes biztonsággal meghatározhatjuk.

Ha tehát ama feltevést elfogadjuk, hogy a köd módjára széteszlott anyag sűrűsége kezdetben végtelen kicsiny volt a nap és a bolygók jelen sűrűségéhez képest, úgy kiszámíthatjuk azon munka nagyságát, mely az összesűrűsödésnél végeztetett; kiszámíthatjuk azt is, hogy e munkának mily nagy része áll fenn még ma mechanikai erőmennyiség alakjában, azaz a bolygóknak a naphoz való vonzódásában és mozgásuknak eleven erejében, s így mint végeredményt azt találjuk, mennyi alakítottatott át az összesűrűdésnél végzett munkából azóta hővé.

E számítás eredménye az *, hogy az eredeti mechanikai erőnek csupán 454-ed része van még meg eredeti alakjában, s hogy a többi hővé alakítva képes volna egy a nap és bolygók együttes tömegével egyenlő víztömeget a százfokú hőmérő 28 millió fokával felhevíteni. Összehasonlítás kedvéért felemlíthetem, hogy a legmagasabb hőmérsék, melyet az oxigénfújtató segélyével létrehozhatunk, s melynél még a platina is izzóvá válik és elpárolog, s egyáltalában csak nagyon kevés ismert anyag marad szilárd állapotban, alig becsülhető 2000 foknál magasabbra. Képzelni sem bírjuk, mily hatásokat kell ezen 28 millió fokú hőmérséknek tulajdoni-

* L. a függelék az előadás végén.

tanunk. Ha egész rendszerünk tömege tiszta szén volna, s az egész elégettetnék, úgy az által e hőmennyiségnek csak 3500-ad része keletkeznék. Annyi azonban bizonyos, hogy maga ezen roppant hőkifejtés a legnagyobb akadályok egyike volt a tömegek gyors egyesülésére nézve, s hogy annak nagy részben a világűrbe sugárzás által kellett elvesznie, mielőtt oly sűrű testek keletkezhettek, mint a minők ma a bolygók és a nap. Ez égi testek keletkezésük alkalmával bizonyára tüzes-folyó állapotban voltak, mert e nézet mellett nemcsak a föld geologiai tünetei, hanem rendszerünk testeinek alakja is szól, mely mint lapult golyó, a forgásban lévő folyadékok egyensúlyi alakjával egyezik meg. Ha itt rendszerünkre nézve egy roppant hőmennyiségnek elvesztéről szoltunk, úgy az által az erő megmaradásának elvével ellenkezésbe nem jöttünk. Elveszett az a naprendszerre nézve, de nem a világegyetemre nézve. Eloszlott az s eloszlik még ma is a világegyetem végtelen ürében; s mi nem tudjuk, valjon azon közegnek, mely a fény- és hőrezgéseket tovaterjeszti, van-e valahol határa, honnét a sugaraknak vissza kell fordulniok, vagy hogy azok örökké folytatják-e útjokat a végtelenbe.

Különben a mechanikai erőkészlet naprendszerünkben még ma is roppant hőmennyiséggel egyenértékű. Ha földünk pillanatnyi ütközés folytán napkörüli útjában rögtön megállítatnék — mitől különben rendszerünk jelen berendezése mellett nincs mit tartanunk — úgy ez ütközés által oly hőmennyiség hozatnék létre, mint oly széntömegnek elégetése által, mely földünk tömegének 14-szeresével volna egyenlő. Tömegének hőmérséke még akkor is, ha hőfoghatóságát a vizével tennők egyenlővé, nem kevesebb, mint 112,000 fokkal emelkednék, tehát bizonyára megolvadna, sőt nagyrészt elpárologna. Ha pedig a föld, mint annak megállása után történni kellene, a napba esnék, úgy az ott létrejövő ütközéskor még 400-szor nagyobb hő keletkeznék.

Kis arányokban e folyamat időről időre még mindig ismétlődik. Alig kételkedhetünk már abban, hogy a hulló

csillagok, a tűzgolyók és meteorok a világlűr testei közé tartoznak, melyek, mielőtt földünk vonzó körébe jutottak volna, a nap körül bolygók módjára mozogtak. Csak midőn földünk légkörébe jutnak, csak akkor válnak láthatókká, s esnek néha lábainkhoz. Annak magyarázatát, hogy e tömegek ilyenkor világítók, az aláhullottak pedig az első pillanatban nagyon melegnek, már régebben ama surlódásban keresték, mely reájok a légben gyakoroltatik. Ma egész pontosan ki tudjuk számítani, hogy ha másodpercenként 3000 lábnyi sebesség mellett az egész surlódási hő a mozgó szilárd tömegnek adatnék át, úgy az képes volna egy darab meteorvasat 1000 fokkal hevíteni, tehát élénk izzásba hozni. A hulló csillagok közép sebessége azonban harminczszor, sőt ötvenszer nagyobb, azaz másodpercenként 4—6 mérföldnyi. De más oldalról nem feledhetjük azt, hogy a keletkezett hő jelentékenyebb része azon megsülített légtömegnek adatik át, melyet a meteorkő maga előtt kerget. Ismert tény az, hogy a fényes hulló csillagok rendesen fényes nyomokat hagynak hátra, melyek eredetüket a felületről elvált izzó részeknek köszönik. A lehulló meteorkövek többnyire heves robbanással pattannak szét, a mit ugyancsak gyors felhevülésük hatásának tulajdoníthatunk. Az újonnan esett darabokat többnyire még melegen, de többé nem izzó állapotban találták, a mit úgy lehet magyarázni, hogy a rövid idő alatt, melyben a meteorkő a légkört átmetszette, csak a felületnek vékony rétege hozatott izzásba, a tömeg belsejébe pedig csak kevés hő hatolt. Ezért tűnhetik el oly gyorsan az izzás látszata.

A meteorkövek hullása, mint kisszerű maradványa azon jelenségeknek, melyek az égi testek képződésénél a legfontosabb szerepet játszották, mintegy átmenetet képez a mai kor jelenségeihez, hol a feltevések homályát a tudás világossága váltja fel. Az eddig előadottakból különben hypothetikusnak csak Kant és Laplace azon feltevése mondható, miszerint rendszerünk tömegei a térben kezdetlegesen kődjára terjedtek el.

Az eset ritkasága végett legyen szabad felemlitenem, mily benső megegyezésben áll ez egyszer a tudomány az emberiség ókori mondáival s a költők képzelmeivel. Az ókori népek kosmogoniái rendszeren mindannyian a chaos-szal és sötétséggel kezdődnek, a mint Mephistopheles is magáról mondja:

Én rész vagyok részből, mely egykor az egész volt,
A sötétségből rész, melyből a fényesség folyt,
A bliszke fény, mely most az anya-éjtől
Rangját és ős helyét elvenni készül *.

Mózes mondája ugyancsak nem sokban tér el ettől, különösen, ha megfontoljuk, hogy az, mit ő kezdetben égnek nevez, az erősségtől, t. i. a kék égboltozattól különbözik, s így nem egyéb a világütnél, s ha megfontoljuk, hogy az alaktalan föld s a mélységek vizei, melyek csak később választatnak el az erősség fölöttiekre és az erősség alattiakra, a chaotikus anyag fogalmának felelnek meg:

„Kezdetben teremte Isten a mennyet és a földet. A föld pedig pusztá és üres vala, és setétség vala a mélységnek színén, és az Istennek lelke lebeg vala a vizek fölött. És mondá az Isten: legyen világosság. És lön világosság.“

De úgy, mint a világítóvá vált ködgolyóban és a jelen kosmogonia tüzes folyó földében a fény még nem volt nappá és csillagokká, az idő nappallá és éjszakává elkülönözve, mint az a föld kihülése után történt.

„És látá Isten a világosságot, hogy jó volna, és elváltá a világosságot a sötétségtől. És nevezé a világosságot napnak, és a sötétséget éjnek. És lön estve és reggel, az első nap.“

Csak miután a vizek a tengerben összegyűltek, s a föld szárazon feküdt, keletkeztek a növények és állatok.

* Goethe: „Faust“, ford. Dóczi Lajos.

Földünk még ma is félreismerhetetlen nyomait viseli egykori állapotának. Hegységeinek gránitszerű alapja oly szerkezetet mutat, mely csak olvadt tömegek kristályos megszilárdulása által jöhetett létre. A hőmérsék vizsgálata bányákban és fűrt lyukakban azt mutatja, hogy a melegség a mélységben növekszik, s hogy e növekedést egyenletesnek feltételezve, már tíz mértföldnyi mélységben oly hőfoknak kell találtatnia, melynél összes kőzetfajaink megolvadnak. Vulkánok időről időre még most is nagy mennyiségű cseppfolyó kőzeteket dobnak a felszínre, mint azon hő hirdetőit, mely a föld belsejében uralkodik. A földnek lehűlt szilárd kérge azonban már annyira megvastagodott, hogy, mint azt hővezetési képességének kiszámítása mutatja, a belülről kihatóló hő, összehasonlítva azzal, melyet a nap a felületre sugároz, oly rendkívüli kicsiny, hogy a felület hőmérsékletét legfeljebb $\frac{1}{30}$ -ad fokkal bírná növelni, úgy, hogy a föld belsejében hő alakjában felhalmozott erőkezlet jóformán csak a vulkanikus jelenségek által gyakorol befolyást a föld felszínén véghez menő folyamatokra. E folyamatok hajtóereje csaknem kizárólag más égi testek befolyásának köszönhető, így különösen a nap fényének és hevének, s részben, a dagály és apályt illetőleg, a nap és a hold vonzó erejének.

Leggazdagabb azon változások csoportja, melyeket a nap fénye és heve hoz létre. Légkörünk a nap befolyása alatt egyenlőtlenül melegszik meg, a melegebb és hígabb lég felfelé száll, míg oldalról hidegebb ömlik helyébe; így keletkeznek a szelek. Leghatalmasabb e folyamat az aequator közelében, honnét a melegebb levegő légkörünk magasabb rétegein át folytonosan a sarkok felé ömlik, míg az alatt a passát-szelek ugyancsak folytonosan hideg leget visznek az aequatorhoz. A nap heve nélkül a szelek szükségképen megszűnnének. A tenger vizeiben ugyanazon okból hasonló áramok keletkeznek. Jelentőségük mellett különösen azon befolyásuk szól, melyet némely vidékek égaljára gyakorol-

nak. Ez áramok viszik az Antillák tengerének meleg vizét a britt szigetekig, s kölcsönöznek nekik egyenletes meleget és kellő nedvességet; de azok hordják az északi sark jegét is New-Foundland vidékére s okozzák zordon hidegét. E mellett, a nap hevének befolyása alatt, a víznek egy része elpárolog; a légkör felsőbb rétegébe száll; ködöt és felhőket képez; vagy eső és hó alakjában a hegyekre és a földfelületre esik; források, patakok és folyamok alakjában újra egyesül s végre ismét a tengerbe tér vissza, miután sziklákat mosott, laza földrészeket elhordott, egy szóval tett valamit a föld geologiai átalakítására s útjában talán még malmokat is hajtott. Semmisítsük meg a nap hevét földünkön s a víznek csak egy mozgási neme fog hátra-maradni, t. i. a dagály és apály, mely a nap- és holdnak vonzása által jő létre.

Lássuk most, mit kelljen a szerves lények mozgása és munkája felől gondolnunk? A mult századbéli automaták készítői az embert s az állatokat megannyi óraműnek tekintették, melyet soha felhúzni nem kell, s mely hajtó erejét maga semmiből teremti; az összeköttetés a bevett tápszer és az erőkifejtés között előttük ismeretlen volt. Mióta azonban a gőzgép tanulmányozása folytán a munkaerő ezen forrását felismertük, azt kell kérdeznünk, így van-e az az emberre nézve is? Az élet fentartása egyáltalában a tápszerek folytonos bevételéhez van kötve; éghető anyagok azok, melyek, a mint az emésztés befejezte után a vérbe mentek át, a tüdőkben lassú égetésnek vettetenek alá, s végre az oxygénnel csaknem ugyanazon vegyületeket képezik, melyek a nyílt tűzön való elégetés közben jönnek létre. Ha tekintetbe vesszük, hogy az elégetés által keletkezett hőnek mennyisége független az elégetés idejétől s módjától, úgy a felhasznált anyag tömegéből kiszámíthatjuk azt, mennyi hőt, vagy annak megfelelőleg, mennyi munkát képes valamely állat annak felvétele folytán végezni. Igaz, hogy a kísérletek nehézségei még nagyok, de mégis már

a pontosság azon határain belül is, melyet maig elérni lehetett, azt mutatják, hogy az állati testben tettleg keletkező hő a vegyi folyamatok által szolgáltatottnak megfelel. Az állati test e szerint a hő és az erő nyelésének módjára nézve nem különbözik a gőzgépektől, de különbözik a cél által, melyre, s a mód által, a mint az erőt felhasználja. Tüzelő anyagát illetőleg, a gőzgépnél sokkal válogatosabb. A gőzgépet cukorral, liszttel és vajjal ép úgy fűthetnők, mint szénnel és fával; az állati test azonban tüzelő anyagát mesterségesen feloldani, egész szervezetébe szétosztani kénytelen, s könnyen elkopó szerves részeinek folytonos helyreállítása végett oly anyagokra szorul, melyeket maga nem képezhetvén, csak kívülről vehet fel. Liebig volt az első, ki a bevett tápanyag ezen rendeltetésére figyelmet fordított. A test folytonos újjá alakítására, mint látszik, kizárólag bizonyos fehérnyemű anyagok szolgálnak, melyek a növényekben előfordulnak, s az állati test nagy részét képezik. Csak kis részét képezik ezek a mindennapos tápszernek, a többi tápanyagok, mint a cukor, keményítő, liszt, zsír valóban csak fűtő anyagok, melyek köszén által talán csak azért nem helyettesíthetők, mert az állati szervezet azt feloldani nem képes.

Ha az állati test folyamatai e tekintetben nem különböznek a szervetlen természet folyamataitól, úgy még azon kérdés áll elő: honnét nyeri azon tápszereket, melyek reá nézve az erő forrásául szolgálnak? Röviden felelhetünk erre: a növényországból. Hiszen csupán a növényi anyagokat vagy a növényevő állatok húsát tudjuk tápanyagul felhasználni. A széna és a fű lényegében véve ugyanazon tápanyagokat tartalmazza, mint a liszt, csak hogy kisebb mennyiségben. Mivel azonban az ember emésztő szervei nem képesek e silányabb tápszerekből a kevés haszonvehető, az oldhatatlan anyagok nagy mennyisége mellett, kiválasztani, úgy azokat előbb a marha hatalmas emésztő szerveinek vetjük alá, s a tápanyagot annak testében gyűjtjük össze,

hogy végre kellemesebb és hasznosabb alakban élvezhesstük. Kérdéstünk tehát végre is a növényországra utal. Ha a növények bevételeit és kiadásait összevetjük, úgy azt találjuk, hogy legfőbb bevételük azon égési terményekből áll, melyeket az állatok szolgáltatnak. A lélegzésnél elégett szenet a légből mint szénsavat, az elégett hydrogént mint vizet, a nitrogént pedig ugyancsak legbensőbb és legegyszerűbb vegyületében, mint ammoniakot veszik fel, s ez anyagokból kevés, a talajból felvett alkatrészek segítségével újból azon összetett, éghető anyagokat, mint a fehérszén, a cukrot, az olajat képezik, melyekből az állat életét fentartja. Oly körfolyamatot találunk itt, mely örök erőforrásnak látszik. A növények tüzelő anyagot és tápszeret készítenek; az állatok felveszik azokat, tüdőikben lassan elégetik, az égési terményekből pedig újra növények táplálkoznak. Ezek a vegyi, amazok pedig a mechanikai erőkészlet örök erőforrásainak látszanak. Valóban azt kérdezhetnők, nem áll-e perpetuum mobile elő a szerves világ két országának ilyen együttműködése által? A felelet bővebb megfontolást igényel. Behatóbb vizsgálatok azt mutatják, hogy a növények éghető anyagokat csak a napfény befolyása alatt bírnak készíteni. A napsugarak egy része azon különös viszony által tűnik ki, melyben a vegyi erőkhöz áll, s melynek folytán vegyi egyesülést vagy bomlást hozhat létre. E sugarak, melyek többnyire kék vagy ibolya színűek, ez okból vegyi sugaraknak neveztetnek. Hatásaikat leginkább a fényképek készítésénél vesszük igénybe. Többnyire az ezüst vegyületeit szoktuk erre használni, melyek szétbontatnak ott, hol a fénysugarak rájuk esnek. Ugyanazon napsugarak a zöld növénylevelekben megsemmisítik azon hatalmas vegyi vonzást, mely a szénsav szenét és oxygenjét összetartja, s ez utóbbit a légkörnek adják át, az első pedig más anyagokkal összekötve, a növényben farostok, keményítő, liszt, olaj és gyanta alakjában halmozódik fel. A napfénynek eme vegyi sugarai teljesen eltűnnek, mielőtt

zöld növényrészekkel találkoznak; ezért lesznek a zöld növénylevelek fényképeinkben oly egyenletesen feketék, hiszen a tőlök jövő fény vegyi sugarak hiányában az ezüst vegyületekre nem bir hatást gyakorolni. A kék és ibolya színű sugarakon kívül azonban a sárgák is kiváló szerepet játszanak a növények fejlődési menetében. A növény levelei ezeket is aránylag hevesen nyelik el.

Mig tehát a növényben éghető anyagok képeztetnek és gyűjtetnek, azalatt a nap fényének hatásképes ereje fogy, s így nagy valószínűség szól a mellett, hogy ez utóbbit az első okának tartsuk. Igaz, hogy eddigelé hiányoznak a kísérletek, melyek kimutatnák, valjon az eltűnt napsugarak eleven ereje valóban megfelel-e az ugyanazon idő alatt felhalmozott vegyi erőkészletnek, s valóban mig olyanok nem eszközöltetnek, addig a kifejezett összeköttetést bizonyosnak nem mondhatjuk. Ha e nézet megerősödnék, úgy abból azon reánk nézve hizelgő következtetést vonhatnók, hogy az összes erő, mely testünket élteti és mozgatja, eredetét közvetlenül a legtisztább napfényből nyeri, s hogy így származásunk nemességét illetőleg nem lennénk alantabb állók a chinai birodalom hatalmas uralkodójánál, ki különben egyedül nevezi magát a nap szülöttének. E magas származásban persze a legalantabb álló lények, akár a béka s a pióca is, nemkülönben az egész növényvilág s az ősvilági és jelenkori tüzelő szerek is osztoznak velünk.

Látjuk tehát, hogy földünk meteorológiai, égalji, geológiai és szerves folyamatainak roppant gazdagsága csaknem kizárólag a nap világító és hevitő sugarainak köszönhető, s látjuk, hogy a természetben ugyanazon ok, megváltozott külső körülmények között, hatásának alakját Proteus módjára bírja változtatni. A nap és hold ezen kívül még másnemű befolyást is gyakorolnak a földre, mely a tenger dagályának és apályának sajátságos jelenségében mutatkozik.

Mind e két égi test vonzása által, a tenger vizében két óriási hullámot hoz létre, melyek ugyanazon irány-

ban futják a földet körül, mint azt látszólag amaz égi testek teszik; a hold két hulláma a hold nagyobb közelsége folytán $3\frac{1}{2}$ -szer oly nagy, mint a napé. E hullámok egyikének legmagasabb pontja a földfelület azon negyedében fekszik, mely a hold felé van irányítva, a másiké az annak ellentett negyedben. E két negyedben ilyenkor dagály, a másik kétben pedig apály áll be. Bár a dagály magassága a szabad tengerben nem nagyobb három lábnál, s bár az csak egyes szűk csatornában, a mozgatott víz összetorlódása folytán, emelkedik harmincz lábnyira, e jelenet hatalmassága, mint azt Bessel számítása mutatja, mégis bámulatra méltó, mert ezek szerint a földfelület egy negyede a dagály alkalmával 200 köbmérföldnyi vízzel többet tartalmaz, mint az apály idejében, s e roppant víztömeg $6\frac{1}{4}$ óra lefolyása alatt ömlik az egyik negyedből a másikba.

A dagály és apály jelensége egybekötve az erő megmaradásának elvével szoros viszonyban áll bolygó rendszerünk állandóságának kérdésével, mint azt már Mayer felismerte. A bolygók mozgásának elmélete, a mint azt Newton megállapította, arra tanít, hogy ha egy szilárd test a nap által vonzatva, körülötte a bolygók módjára mozogna, mozgása örökké változatlanul fogna fennállani.

A valóságban nem egy, hanem több bolygó létezik, melyek a nap körül mozogva, egymásra gyakorolt kölcsönös vonzásuk által pályáikban kis változásokat és zavarokat hoznak létre. Laplace azonban *Mécanique Céleste* című nagy munkájában kimutatta, hogy bolygó rendszerünkben mind e zavarok időszaki növekedéseknek és kisebbedéseknek vannak alávetve és soha bizonyos határokon túl nem terjednek, úgy, hogy általuk a bolygó rendszer örök fennállása nincs veszélyeztetve.

Mégis eddig már két feltevést kellett tennünk: először azt, hogy a világról teljesen üres, másodszor azt, hogy a nap és a bolygók szilárd alkatú testek. Az első, legalább annyiban igaznak látszik, a mennyiben eddigelé a bolygók

mozgásában nem lehetett oly változásokat felfedezni, melyeket ellenálló közeg hatásának tulajdoníthatnánk. De még ezt sem mondhatjuk egész bizonyossággal, mert van egy kis tömegű égi test, t. i. az Encke-féle üstökös, melyen ilyenü változásokat felismerhetünk; ez égi test a nap körül mind szűkebb és szűkebb ellipsziseket ír le. Ha a mozgásnak e neme, mely ellenálló közeg befolyásának látszik, csakugyan annak befolyása alatt megy véghez, úgy be fog állani az idő, midőn ez üstökös a napba hull, s akkor a bolygókat is hasonló vég fenyegeti, bár az csak oly idők multával fogna beállni, melyeknek hosszát még képzelni sem bírjuk. De ha az ellenálló közeg létele kétségesnek látszik, úgy nem kételkedhetünk azon, hogy a bolygók nem állanak egészen szilárd s egymás irányában el nem tolható tömegekből. A Nap, a Venus, a Mars, Jupiter és Saturn légkörök lételének nyomait mutatják, a Mars felületén víz és jég jelenlétét lehet felismerni, s földünk nemcsak felületén, hanem talán még belsejében is nagy mennyiségű cseppfolyó anyagokat tartalmaz. A dagály és apály mozgása azonban a tengerekben úgy, mint a légkörben csak surlódással történhetik; s mivel minden surlódás eleven erőt semmisít meg, azért kell, hogy a bolygó mozgásának eleven ereje fogyjon. Így okvetlenül azon eredményhez kell jutnunk, hogy a dagály és apály, bár rendkívül lassan, de biztosan és szakadatlanul csökkenti rendszerünk mechanikai erőkézsztét. E mellett az illető bolygó tengely körüli forgásának is lassúdni kell, s hogy ez földünkre nézve tetteleg történik, azt Hansen, Adams és Delaunay a hold mozgására vonatkozó újabb tanulmányai alapján kimutathatjuk. Az első állítása szerint Hipparch kora óta egy csillagnap tartama $\frac{1}{81}$ -ed másodperczel* egy század tar-

* Újabb számítások azt mutatták, hogy a napnak tartama $\frac{1}{32}$ -ed másodperczel hosszabb mint a 720-ik évben Kr. sz. o. Ford.

tama pedig $\frac{1}{2}$ negyedórával növekedett volna; Adams és Thomson W. szerint e növekedés csaknem kétszer akkora. Egy óramű, mely valamely század elején helyesen járt, annak végén a földet 25 másodperczcel előzné meg. Laplace a föld forgásának illetén lassúdsát tagadta; de ennek kiszámítására a hold mozgásának elméletét sokkal pontosabban kellett kifejteni, mint azt az ő korában lehetett. A végeredmény, mely felé a föld forgásának folytonos lassúdsa vezet, ha időközben a tengerek be nem fagynak, az évek milliói-nak lefolyta után az lesz, hogy a földnek egyik fele folytonosan a nap felé fordítva, örök napfényben fog úszni, míg a másik örök éj homályába lesz burkolva. Holdunk ily állást foglal el földünk irányában, s ilyet találunk más bolygók és mellékbolygók között is; alighanem azon hatalmas dagály és apálynak következtében, mely ez égi testeken tüzes-folyó állapotuk alkalmával működött.

Ez okoskodásokat, melyek ismét a legtávolabb jövő homályába vezetnek, nem említettem volna fel, ha azokat egyáltalában ki lehetne kerülni. A physika-mechanikai törvények szellemi szemeinknek mintegy távesőül szolgálnak, mely a legtávolabb mult és jövő homályába hatol.

Bolygórendszerünkre nézve egy másik fontos kérdés az: miként lesz az a jövőben megvilágítva és melegítve? Mivel a földgolyó belső heve csak kis befolyást gyakorol a földfelület hőmérsékére, azért itt leginkább csak a nap által kisugárzott hővel van dolgunk. Ha, a mint kísérletek által lehetséges, meghatároztuk azt, hogy valamely felületre adott idő alatt mennyi naphő esik, úgy kiszámíthatjuk azt is, hogy a nap mindössze mennyi hőt sugároz ki. Ily méréseket egy francia tudós, Pouillet eszközölt s azon eredményhez jutott, hogy a nap minden órában annyi hőt bocsát ki, mennyit egy felületén elterülő tíz lábnyi magas tömött szénréteg elége szolgáltatna; évenkénti hőkiadásának tehát egy $3\frac{1}{2}$ mértföldnyi vastag réteg felelne meg. Ha e hő a nap egész testétől egyenletesen vonatnék el, úgy, hőfogatóságát

a vizével egyenlőnek feltételezvé, hőmérséke évenként $1\frac{1}{3}$ fokkal szállana alább. Ez adatok értesítenek ugyan arról, hogy mily nagy a napnak hőkiadása, felületéhez és tartalmához viszonyítva, de nem adhatnak felvilágosítást arra nézve, hogy a nap izzó test gyanánt csak azon hőt sugározza-e ki, mely benne keletkezésekor felhalmozódott; vagy hogy felületén vegyi folyamatok útján a hőnek folytonos újraképződése megy-e véghez. Az erő megmaradásának elve mindenesetre arra tanít, hogy a földön nem ismerünk oly folyamatot, mely a napnak fény és hő kisugárzását örök időkre változatlanul fenttarthatná. Ugyanazon elv azonban arra is tanít, hogy amaz erőkészletek, melyek már is hő alakjában vannak jelen, vagy idővel hővé fognak alakulhatni, még mérhetetlen idők szükségleteit fogják fedezhetni. A vegyi erő készletéről a napban mit sem tudunk, s az ott felhalmozott hőkészletet is csak bizonytalan becslés által határozhatjuk meg. Ha azonban azon nagyon valószínű nézetet fogadjuk el, hogy a napnak a csillagászok által meghatározott, nagy tömegéhez képest feltűnően csekély sűrűsége a nap magas hőmérsékletének eredménye, s e sűrűség idővel még növekedni fog, úgy kiszámíthatjuk, hogy, ha a nap átmérője mai nagyságának egy tizezered részével kisebbednék, az által oly hő jönne létre, mely elégséges volna a nap hőkiadását 2100 éven át fedezni. Az átmérőnek ily csekély változása még a legfinomabb csillagászati észlelések segélyével is csak nehezen lenne felismerhető.

A föld felületének hőmérséklete azon idő óta, melyre történeti adataink kiterjednek, tehát mintegy négyezer év óta, észrevehetőleg nem kisebbedett. Igaz, hogy e régi korból nem maradtak reánk hőmérői észleletek; de vannak adataink, melyek arról értesítenek, hogy mennyire voltak elterjedve bizonyos növények, mint a szőlőtő és az olajfa, melyek a közép évi hőmérséklet változásai irányában rendkívül érzékenyek; s ez adatokból azt tanuljuk, hogy ama növények elterjedésének határai ugyanazok ma, mint Ábra-

hám vagy Homér korában, s hogy ennek alapján az égalj állandóságát a történeti időkre nézve jogosan szabad következtetnünk.

Ez állítással ellentétben azon körülményre lehetne hivatkozni, hogy egykor a lovagok itt Poroszországban bort termeltek, sajtoltak és ittak, a mi ma már nem lehetséges. Ebből aztán arra lehetne következtetni, hogy égaljunk hőmérséklete azon idő óta alább szállott. E nézetet azonban már Dove megezáfolta a régi krónikák idézése által, melyek szerint a porosz szőlők termése néhány rendkívül meleg évben valamivel kevésbbé savanyú volt mint rendesen. E tény tehát nem az égalj melegsége, hanem csak a német urak torka mellett emel szót.

De ha bolygó rendszertünk erőkészletei oly nagyok is, hogy a folytonos kiadás daczára történetünk folyamában észrevehetőleg nem csökkentek, ha azon időszakot megmérni sem tudjuk, melynek le kell folynia, mielőtt a bolygó rendszer állapotában észrevehető változások történnének: a kérelhetetlen mechanikai törvények mégis oda utalnak, hogy ez erőkészletek, melyek folytonosan csak veszteséget, gyarapodást pedig soha nem szenvednek, végre ki fognak merítettetni. Ijesztő-e reánk nézve e következtetés? Az ember a világegyetem nagyságát és bőleseségét azon előny és tartósság szerint szokta megbecsülni, melyet az neki biztosítani látszik; de már a földgolyó mult története is mutatja, mily rövid pillanatot töltött be abban az emberi faj élete. Egy vend cseréptöredék vagy egy római kard, melyet a földben találunk, a homályos ókor képzetét ébreszti fel bennünk; a mit Európa muzeumaiban Egyiptom és Asszylria maradványaiból találunk, az bámulatra ragad, úgy, hogy alig merünk e tőlünk oly messze fekvő korszakról friss képzetet alkotni; pedig az emberi faj bizonyára már évezredekkel előbb élt és szaporodott, mielőtt Ninive és a pyramisok építették volna. Az emberi történet idejét 6000 évre becsüljük; de bármily nagynak látszik is ez időszak,

mi az azon időszakokhoz képest, melyeknek tartama alatt földünk a ma már kihalt, de egykor buján tenyésző állat- és növénycsaládok egész sorát táplálta, s melyek alatt hazánkban a borostyánfa virágzott s becses gyantáját a földbe és a tengerbe hullatta, s midőn Szibériában, Európában s északi Amerikában pálma-erdők zöldeltek, azon óriási gyíkok s később elefántok tenyészték, melyeknek maradványait a földben eltemetve találjuk? Különböző geológok különböző alapból kiindulva iparkodtak ama teremtetési korszak tartamát meghatározni s becsléseikben 1 és 9 millió év között ingadoznak. De még azon hosszú idő is, mely alatt a földön szerves élet tenyészett, kicsiny azon megelőző időszakhoz képest, midőn az még csak tüzes cseppfolyó golyó volt. Bischof kísérletei a megolvasztott bazalt lehülése felől azt mutatják, hogy a föld lehülésére 2000 foktól 200-ra mintegy 350 millió év szükségeltetnék. Azon időről pedig, mely alatt a kezdetleges ködszerű anyag a bolygórendszerre csoportosult, még legmerészebb képzetünkkel sem birunk fogalmat alkotni. Az ember története tehát eddig csak egy rövid hullám volt az idők oceánjában; s a szervesetlen természetnek fajunk fennállására alkalmas jelen állapota, úgy látszik, még az évezredek hosszabb sorára van biztosítva, úgy, hogy magunkra s a minket követő nemzedékek hosszú sorára nézve nincs mitől tartanunk. De a légben, a vízben, s a földkéreg vulkányszerű belsejében még mindig azon erők működnek, melyek egykor a geológiai forradalmakat okozták, s az élő lények egyik fáját a másik után eltemették. Gyorsabban fogják ezek az emberiség végitéletének napját siettetni, mint ama távolabb fekvő változások a világegyetemben, melyekről előbb szólottunk, s talán kényszeríteni fognak tökéletesebb lényeknek helyet engedni, úgy, mint egykor az óriási gyíkok és mammutok nekünk s a velünk élő lényeknek helyet engedtek.

A fonal tehát, melyet azok, kik a perpetuum mobile árnyképét követték, a tudatlanság homályában kezdtek fonni,

a természet egy általános törvényére vezetett, mely a világ-
egyetem kezdetének és végének sötét éjjelére veti fényét.
E törvény saját fajunknak hosszú, de nem örök fennállást
ígér; az ítélet napjának beálltával fenyeget, de annak idejét
szerencsénkire eltitkolja. Valamint az egyesnek el kell vi-
selnie halálának gondolatát, úgy kell azt egész fajunknak
is tennie; egyetlen előnye más, már tönkre ment fajokkal
szemben csak azon magasabb erkölcsi feladat, melynek
harczosa lett, s melynek betöltésével rendeltetésének meg-
felelt.

F Ü G G E L É K

a 290-ik oldalhoz.

Említettem, hogy Kant feltevése értelmében, az égi testeknek ködszerű anyagból összesűrűdése közben, hőnek kellett keletkezni. Szükségesnek tartom az e hő kifejtésére vonatkozó számításokat itt közölni. A többi számítások, melyeknek eredményeit ez előadásban felhasználtam, részint J. R. Mayer és Joule munkáiban találhatók, részint pedig az ismert tudományos tények és módszerek segélyével könnyen végrehajthatók.

Azon munkára nézve, mely a tömegnek végtelen csekély sűrűségi állapotából történő összesűrűdése közben végeztetik, mértékül a megsűrített tömegnek önmagára vonatkoztatott potentialja szolgál. Egy M tömegű, R sugarú és egyenletes sűrűségű golyónak potentialja önmagára V , következő értékkel bír:

$$V = \frac{3}{5} \cdot \frac{r^2 M^2}{R \cdot m} \cdot g$$

hol m a föld tömegét, r a föld sugarát és g a nehézkedés erősségét a föld felületén jelenti.

Ha minden naprendszerünkhöz tartozó égi testet ily golyónak tekintünk, úgy mindannyinak potentialját önmagára összegelvén, az egész összesűrűdési munkát nyerjük. Mivel azonban e potentialok a különböző golyókra nézve, egymáshoz az $\frac{M^2}{R}$ mennyiség illető értékeinek arányában ál-

lanak, azért a nap potenciálja mellett mindannyian elhanyagolhatók; hiszen még a legnagyobb bolygónak, a Jupiternek potenciálja is csak mintegy százvezred része a nap potenciáljának, s így elég ha számításaink közben csak ez utóbbira vagyunk tekintettel.

Arra, hogy M tömegű test hőmérséklete t fokkal emelkedjék $M\sigma t$ hőmennyiség szükségeltetik, σ -val a test fajbeli hőfoghatóságát jelölve. E hő, Ag alatt a hő egység mechanikai egyenértékét értvén, $AgM\sigma t$ munkamennyiségnek felel meg. E szerint a nap tömegének összesűrűdése által okozott hőmérséki emelkedés kiszámítására, a következő egyenlet szolgál:

$$AgM\sigma t = \frac{3}{5} \frac{r^2 M}{A.R.m.\sigma} V, \text{ s így}$$

$$t = \frac{3}{5} \frac{r^2 M}{A.R.m.\sigma} V$$

A nap tömegével egyenlő nagyságú víztömegre nézve $\sigma = 1$ kell tennünk, s A , M , R , m és r ismert értékeit felhasználván, nyerjük:

$$t = 28611000^\circ \text{C.}$$

A nap tömege 738-szor nagyobb, mint a többi bolygók tömege együttvéve, ha tehát a víz tömegét az egész rendszerével egyenlővé akarnók tenni, úgy t -nek talált értékét még $\frac{738}{739}$ -el kellene szoroznunk, mi által e mennyiség alig változnék észrevehetőleg.

Midőn valamely gömbalakú tömeg, melynek sugara R_0 , inkább s inkább összehúzódik mindaddig, míg sugara R_1 lett; akkor a velejáró hőmérséki növekedés a következő:

$$\Delta t = \frac{3}{5} \frac{r^2 M}{A.m.\sigma} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0} \right) \text{ vagy}$$

$$= \frac{3}{5} \frac{r^2 M}{A.R_1.m.\sigma} \left(1 - \frac{R_1}{R_0} \right)$$

Ha tehát a bolygórendszer tömegét kezdetben nem végtelen nagy, hanem például a Neptun pályájának sugarával leírt gömbben foglaltak képzeljük, úgy $\frac{R}{R_0} = \frac{1}{6000}$, mert a Neptun pályájának sugara 6000-szer oly nagy, mint a nap félátmérője.

Ez esetben t -nek fentebb talált értékét, még annak c esekély részével kellene kisebbiteni.

Ugyanazon egyenletekből látjuk azt is, hogy a nap sugarának kisebbedése $\frac{1}{10000}$ részével oly munkát képvisel, mely a napéval egyenlő tömegű vízmennyiség hőmérsékét 2861 fokkal emelné. Mivel pedig a nap Pouillet számításai szerint évenként annyi hőt veszít, mint a vele egyenlő tömegű víz, midőn $1\frac{1}{4}$ hőfokkal lehűl: világos, hogy a napnak eme összehúzódása hőkiadását 2289 éven át fedezné.

Ia, mint ez valószínű, a napnak sűrűsége nem mindenütt egyenletes, hanem központja felé nagyobbodik, úgy tömegének potenciálja és az annak megfelelő hőmennyiség még nagyobb lesz.

A még ma meglevő mechanikai erőmennyiségek közül az égi testek tengely körüli forgásának eleven ereje nagyon kiesiny a többi erőmennyiségekhez képest, s így elhanyagolható; a nap körüli keringések eleven ereje és a nap vonzásának munkamennyisége pedig, μ -vel a bolygó tömegét, ρ -val a naptól való távolságát jelölve:

$$L = \frac{gr^2 M \mu}{m} \left\{ \frac{1}{R} - \frac{1}{2\rho} \right\}$$

ha $\frac{1}{2\rho}$ mennyiséget, mint $\frac{1}{R}$ mennyiséghez viszonyítva nagyon kiesinyet, elhanyagoljuk, s V -nek fentebb talált értékével osztunk, úgy az eredmény a következő lesz:

$$\frac{L}{V} = \frac{5}{3} \mu M.$$

Az összes bolygók tömege együttvéve a nap tömegének $\frac{1}{738}$ részével egyenlő, s így L -nek értéke az egész rendszerre nézve :

$$L = \frac{1}{453} V.$$

M Ű S Z Ó T Á R.

Erő, *Kraft*. Hajtó erő, *Triebkraft*. Mozgató erő, *Bewegungskraft*. Munkaerő, *Arbeitskraft*.
 Expansiósgőzgép, *Expansionsdampfmaschine*.
 Fehérnye, *Enweiss*.

Hőfoghatóság, *Wärmecapacität*.
 Hő mechanikai egyenértéke, *Mechanisches Wärmeäquivalent*.
 Lappangó hő, *Latente Wärme*.
 Meteorkő, *Meteorstein*.

AZ ERŐ MEGMARADÁSÁRÓL.

BEVEZETÉS

az 1862/3-ik tél folyamában

Carlsruheban tartott előadási cyklushoz.

Tisztelt gyülekezet!

Midőn ez előadások tartására vállalkoztam, azon czél lebegett szemeim előtt, hogy önöket, a mennyire tölem telik, egy alkalmas példában megismertessem azon tudományok sajátágos jellemével, melyeknek tanulmányozására éltemet szenteltem. A természettudományok az utolsó négy században gyakorlati alkalmazásaik, valamint szellemi befolyásuk által, a művelt nemzetek összes életviszonyaira oly nagy fokú s oly gyors befolyást gyakoroltak, e nemzeteket vagyonuk, s kényelmök növekedése, egészségi állapotuk biztosítása, és az ipar és forgalom eszközeinek teremtmése által még politikai szempontból is annyira gazdagították, hogy mindenkinek, ki a viszonyokat, melyek között él, megérteni kívánja, még ha a részletek tanulmányozásába bo-

csátkozni nem is akarna, érdekkal kell viseltetnie a szellemi munkásság azon különös neme iránt, mely a nevezett tudományok körében működik és terem.

Már más alkalommal * kifejtettem azon jellemző különbséget, mely a tudományos tevékenység terén a természeti és a szellemi tudományok között fennáll. Azt iparkodtam ott kimutatni, hogy különösen a természeti jelenségek- és termékeknek aránylag könnyen felismerhető törvényszerűsége az, mi e különbséget okozza. Nem mintha az egyének és nemzetek szellemi életének törvényszerűségét, a mint ez a bölcsészeti, nyelvészeti, történeti, erkölestani és társadalmi tudományok tárgyát képezi, tagadni akarnám. De a szellemi életben az egymásba nyúló befolyások hálózata annyira bonyolódott, hogy szigorú törvényszerűsége csak kevés esetben mutatható ki világosan. Másként van az a természetben. A természeti jelenségek nem egy roppant terjedelmes csoportjára, lehetséges volt keletkezésök és lefolyásuk törvényét oly pontosan és tökéletesen felismerni, hogy jövődő bekövetkezéseket biztosan megjósolhatjuk, vagy a hol bekövetkezések feltételeire befolyást gyakorolhatunk, befolyásukat tetszésünk szerint kormányozhatjuk. A legszembetűnőbb példát arra, hogy az emberi ész a helyesen felismert törvény segítségével mit tehet a természeti jelenségekkel szemben, a jelenkori csillagászat szolgáltatja. A gravitáció egyszerű törvénye egymaga uralkodik nem csupán bolygórendszerünk égi testeinek mozgásai, hanem a sokkal távolibb kettős csillagok felett is, melyektől még a fény, a természet e leggyorsabb hírnöke is, csak évek lefolyása alatt bir szemünkhöz jutni; s épen az egyszerű törvényszerűség okozza azt, hogy e testek mozgásait, a számítás bonyolódottsága daczára, egészen a perezek tört részeig terjedő pontossággal évekre, sőt évszázadokra birjuk vissza vagy előre kiszá-

* L. „A természettudományok viszonya a tudományok összességéhez“ című előadást e gyűjtemény első füzetében.

mitani. E szigorú törvényszerűségen alapul biztosságunk is, melylyel a göznek fékezetlen erejét meghódítani, s szükségletünk szolgájává tenni tudjuk. E törvényszerűség okozza a szellemi érdekeltséget is, mely a természetbuvárt tárgyhöz köti. Egészen másnemű érdek ez, mint a szellemi tudományoké. Ez utóbbiak körében az ember s szellemi tevékenységének különböző irányzatai kötik le figyelmünket. Minden nagy tett, melyről a történet beszél, minden hatalmas szenvedély, melyet a művészet ábrázol, minden tudósítás, melyet valamely távoli vagy régi nemzet szokásáról, állami szerkezetéről és művelődéséről nyerünk, érdekünket felébreszti, bár ha nem is tudományos összefüggésben közöltetnék velünk. Ily módon mindig találunk kiinduló pontokat saját képzelmeink és érzéseink összehasonlítására, s az által saját szellemünk rejtett képességeit és hajlamait is tanuljuk ismerni, melyek a civilisált élet megszokott csendes folyamában felébresztetlenül maradnak.

Félreismerhetetlen az, hogy az érdekeltség e nem a természettudományok körében hiányzik. Az egyes tények magukban véve felébreszthetik ugyan kíváncsiságunkat, s bámulatra ragadhatnak, vagy gyakorlati alkalmazásuk szempontjából hasznunkra lehetnek, de szellemi meglegedést mégis csak az egésznek törvényszerű összefüggése nyújthat. Ertelemnek azon képességünket nevezzük, melylyel a törvényeket felismerni s öntudatosan alkalmazni tudjuk. A tiszta értelem sajátos erejének egész biztossága és érdeme szerint való alkalmazására nincs alkalmasabb költő, mint a természetbuvárlat tere tágabb értelemben, a mennyiség-tant is befoglalván. Pedig az öröm egyik leglényegesebb szellemi képességeink eredménydús tevékenysége, s azon győzelme felett, melyet gondolkozásunk és akaratomk ereje a részben idegen, részben ellenséges külvilágnak ellenében kivívott, még nem képezi o munka egyetlen jutalmát; bizonyos művészi meglegedés is kíséri azt, midőn a természet roppant gazdagságát, mint törvényszerűen rendezett egészet,

mint kosmost, mint saját szellemünk rendszeres gondolkodásának tükörképét áttekintjük.

A természettudományok fejlődése az utolsó évtizedekben egy új, általános törvény felismerésére vezetett, mely rendkívüli messze terjedő hordereje s azon összefüggése útján, melyben az idő és helyre nézve legtávolabb s legkülönbözőbb tünetmennyekkel áll, különösen alkalmas arra, hogy a természettudományok említett sajátját előtüntesse.

E törvény, melyet fentemlített érdekes tulajdonságainál fogva előadásom tárgyául választottam, az erő megmaradása törvényének nevezetik. Ez elnevezés még magyarázatot kíván. A törvény nem egészen új, a természeti jelenetek szűkebb körére már a múlt század folyamában kimondatott az Newton és Bernoulli Dániel által; kiterjedtebb érvényességét a hőtan egyes részeire főbb vonásaiban már Rumford és Humphrey Davy ismerték fel. Legáltalánosabb érvényességének lehetőségét legelőször egy sváb orvos Dr. Julius Robert Mayer (jelenleg Heilbronnban) 1842-ben * mondta ki, míg egy angol technikus, James Prescott Joule Manchesterben vele csaknem egyidejűleg, s tőle függetlenül fontos és nehéz kísérleteket eszközölt a hő és mechanikai erő közötti összefüggés megállapítására, mely kísérletek leginkább arra szolgáltak, hogy betöltsék az új elmélet s a tapasztalat összehasonlításában még sok helyen mutatkozó hézagot.

A törvény, mely itt szóban forog, azt fejezi ki, hogy a természet egyetemességében meglevő hatás-képes erő mennyisége változatlan, tehát sem nem gyarapodhatik, sem nem kevesbedhetik. Első feladatomban kifejteti azt, mit kelljen az erő mennyisége, vagy, mint

* I. Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur. Liebig's Annalen XLII; továbbá: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel. Heilbronn 1845; és Beiträge zur Dynamik des Himmels, Heilbronn 1848.

e fogalmat a technikai alkalmazásokban népszerűen kifejezni szoktuk, a munka nagysága alatt értenünk.

A gépek és természeti folyamatok munkájának fogalma összehasonlításon alapul az ember tevékenységével; s így az emberi munka az, melyen az itt szóban forgó viszonyokat legalkalmasabban tanulmányozhatjuk. Midőn a gépek s a természeti erők munkájáról szólunk, természetesen el kell tekintenünk mind attól, mi az ember munkájában az értelem tevékenységeken szerepel. Az ember már pusztá gondolkozása által is nehéz és megerőltető munkára képes, mely csakúgy fáraszt, mint izmainak munkássága. A mi pedig a gépek munkájában az értelemből előfordul az, természetesen, csupán alkotójok szellemének műve, s a szerszám munkájának nem tulajdonítható.

Az ember külső munkája nagyon változatos, mind az erőt vagy könnyűséget, mind a munka kivitelére szükségelt mozgások módját és sebességét, valamint a létre hozott mű nemét illetőleg. De a kovács karja, midőn a hatalmas kalapácsal súlyos ütésekkel mér, valamint a hegedűs, midőn a hang legfinomabb változatait hozza létre, és a szövő leány keze, midőn alig látható fonalakkal dolgozik: mindannyian ugyanazon módon s ugyanazon szervek által, t. i. a kar izmai által nyerik az erőt munkájuk végzésére. Maga a kar, ha izmai bénítva vannak, munkát végezni nem képes; csak ha benne az izmok mozgató ereje tevékenységét gyakorolja, s ha az izmok az agyhoz vezető idegek parancsának engedelmeskedni tudnak, csak akkor képes e tagunk azon változatos mozdulatokat végrehajtani, s azon különféle eszközöket kormányozni, melyekre sokféle műveleteink alkalmával szükségünk van.

Így van az gépeinknél is; a legkülönbözőbb műveletekre használjuk azokat, s általuk a mozgásnak roppant különféleségét hozzuk létre, majd kisebb, majd nagyobb erővel és sebességgel mozogván; a hámoroktól és hengerművektől kezdve, melyek óriási vastömegeket vaj gyanánt

metszenek és formálnak, egész a fonó és szövő gépekig, melyeknek munkája csaknem a pókok művével versenyez. A jelen-kor gépészete sokféle módot ismer arra, hogy a forgó kerek mozgását másokra nagyobb vagy kisebb sebességgel átvigye, vagy hogy e forgó mozgást a szivattyúkőpű, a szövőszék vetélője s a hámorok kalapácsainak ide-oda mozgatására változtassa, vagy hogy egyenletes sebességű mozgásokat változó sebességű mozgásokká alakítson át, s i. t. Épen ez teszi a gépeket az ipar legkülönbözőbb ágaiban annyira haszonvehetőkké. Minden változatosságuk dacára azonban egy tekintetben mindannyian megegyeznek, mindannyian hajtó erőre szorulnak, mely őket mozgásba hozza és mozgásban tartja, hasonlóan az emberi kar működéséhez, mely minden tettében az izmok mozgó erejére szorul.

Valamint az izmokat a kovács munkássága jobban megerőlteti mint a hegedűs foglalkozása, ép úgy a gépeknél is különböző azon hajtó erőnek nagysága és kitartása, melyet mozgatásukra igényelnek. Ezek az izmok különböző fokú megerőltetéseinek megfelelő különbségek azok, melyeket tekintetbe vennünk kell, ha a gép munkájának nagyságáról szólnunk. E fogalom megállapításánál tehát a gép hatásainak és működéseinek változatosságát figyelembe nem vesszük s csak az erő fogyasztására gondolunk.

Az erőfogyasztás, e megszokott kifejezés, mely kifejezi hogy az alkalmazott erő kiadatik és elvész, még egy más jellemző analógiát állapít meg az emberi kar és a gépek működési módja között. Mentől nagyobb a megerőltetés s mentől tovább tart az, annál inkább kifárad az emberi kar, annál könnyebben merül ki mozgó erejének készlete. Látni fogjuk, hogy a szervetlen természet hajtó erői is birnak azon tulajdonsággal, miszerint munka alatt kifáradnak, s hogy az emberi kar kifáradása csak azon általános törvények egyik következtetése, melylyel itt foglalkozunk. A fáradság beálltával izmainknak üdülésre van szükségök, melyet nyugalom

és táplálkozás által nyernek; így képesek leszünk a szervetlen hajtó erők kimerült hatásképességét is helyreállítani, bár arra általában más eszközöket kell alkalmazni, mint az ember karját. *28. 29. 30.*

Izmaink megerőltetésének s kifáradásának érzése némi fogalmat adhat arról, mit kelljen a munka nagysága alatt értenünk; az eme hasonlatosságra alapított határozatlan becslésnél fontosabb mégis az, hogy tiszta fogalmat alkossunk azon mértékről, melylyel a munka nagyságát mérnünk kell.

Könnyebben tehetjük ezt az egyszerű szervetlen mozgató erőkre, mint izmaink működésére nézve, melyek, mint rendkívül bonyolódott eszközök, egyszersmind rendkívül bonyolódott módon működnek.

Működtessük az általunk legjobban ismert legegyszerűbb erőt, a nehézséget, mozgató-erő-képen. Mint ilyen működik az például fali óráinkban, melyeket súly mozgat. E súly fonálra erősítve, mely az óramű első fogas kerekével összekötött hengerkerék körül van tekerve, a nehézség irányában nem mozoghat a nélkül, hogy az egész óraművet mozgásba ne hozza. Figyeljünk most a következőkre: A súly az órát nem mozgathatja a nélkül, hogy maga mindinkább alább ne szálljon. Ha maga a súly nem mozogna, úgy az órát sem mozgathatná. E mozgása pedig csak a nehézség irányában történhetik. Ha tehát az órát járattatni akarjuk, úgy a súlynak mindig mélyebbre és mélyebbre, s végre addig kell alászállni, míg a fonál, mely azt tartja, letekerődött; ekkor az óra megáll, ekkor súlyának hatásképessége egyelőre kimerítettett. A súlynak nehézsége ezért nem veszett el, sőt nem is csökkent, a föld utóbb is ugyanazon mértékben fogja vonzani mint előbb, de elveszett a nehézség képessége az óramű mozgásának létrehozására; bár az erő a súlyt útjának legmélyebb pontjában czentül mozdulatlanul megtartja, mégis azt tova mozgatni nem bírja.

Az órát azonban karunk erejével felhúzhatjuk, miközben a súlyt újra felemeljük. Mihelyest ez megtörtént, előbbi hatásképessége ismét helyre állítottott, s az óra ismét mozoghat.

Azt tanuljuk ebből, hogy az emelt súly bizonyos hajtóerővel bír; hogy azonban a súlynak szükségképen alá kell szállania, hogy e hajtóerő működhessen. E hajtóerő kimertül, midőn a súly alászállott, de egy új, más hajtóerő, t. i. karunk ereje által újra helyre állítható.

A munka, melyet a súly végez, midőn az órát mozgásban tartja, nem igen nagy. Usupán azon ellenállásokat kell folytonosan legyőznie, melyeket a tengelyek és fogak surlódása és a lég ellenállása gyakorol a kerekek mozgásának ellenében, s az erőt kell szolgáltatnia azon kis lökések és hangrezgések létre hozására, melyek az inga minden egyes lengésével együtt járnak. Ha a súlyt az óráról leemeljük, úgy az inga, mielőtt megnyugodnék, előbb még egy ideig ide-oda mozog; de mozgása folytonosan gyengül, s ama kis akadályok által lassanként felemésztetvén, végre egészen megszűnik. Épen ezért szükséges, hogy az óra mozgására egy, bár kicsiny, de folytonosan működő hajtóerőt alkalmazzunk. Ilyet szolgáltat a súly.

E példa különben könnyen nyújt mértéket a munka nagyságának meghatározására. Tegyük fel, hogy az óra egy fontnyi súly által hajtatódnék, s e súly huszonnégy óra alatt öt lábbal süllyedne. Vegyünk tiz ugyanilyen szerkezetű órát, úgy e tiz óramű 24 óráig fog hajtatódni, s mivel ugyanazon idő alatt mindegyikük ugyanazon ellenállást győzi le, úgy összesen tizszeres munka fog végeztetni, a mennyiben tiz font öt lábbal süllyed. Ebből azt következtetjük, hogy ugyanazon esési magasság mellett a munka a súlylyal arányosan növekszik.

Ha a fonalat annyira meghosszabbíthatjuk, hogy a súly tiz lábbal szállhasson alá, úgy az óra egy nap helyett két napig fog járni, s a súly kétszeres esési magasság mel-

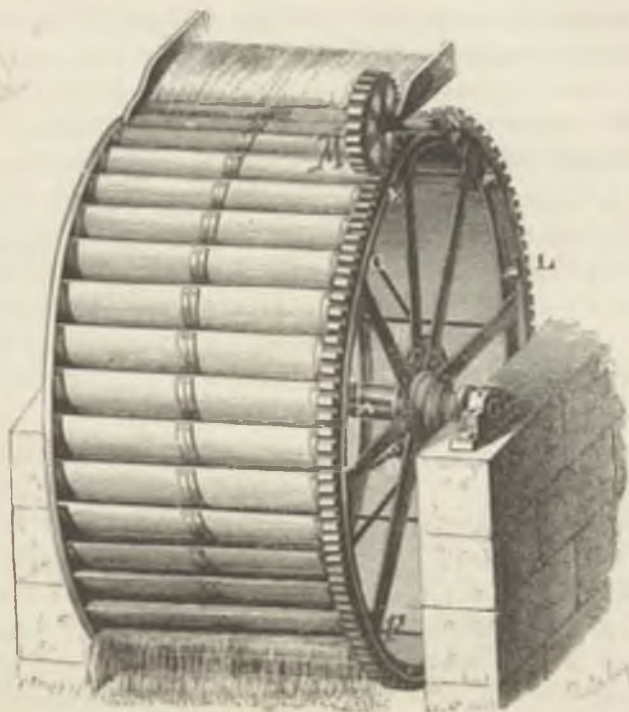
lett a második napon megint annyi ellenállást fog legyőzni, mint az első napon; s így egész munkája kétszer oly nagy lesz, mintha csak öt lábnyit szállott volna. Ugyanazon súly mellett tehát a munka az esési magassággal arányosan növekszik. Ebből az következik, hogy a súly nagyságának és esési magasságának szorzatát, legalább a tárgyalt esetben, a munka mértékének kell tekintenünk. E mérték alkalmazása azonban tetteleg nincs ezen egyetlen esetre szorítva, mert a gyakorlatban általánosan alkalmazott munkamérték * ugyanesak a lábfont, vagy is azon munka, melyet egy fontnyi súly egy lábnyi magasságra emelve, végezhet.

A munkaerő ezen mértéke tetteleg a gépek minden nemére alkalmazható; mert egy hengerkerékkel összekötött megfelelő súly által mindannyit mozgásba hozhatjuk. Ekként bármely hajtó erő nagyságát minden tetszőleges gépre nézve azon súly nagysága és esési magassága által fejezhetjük ki, mely szükséges volna arra, hogy a gépet működésben tartsa mindaddig, míg az valamely meghatározott munkát végzett. Ép ezért mérhetjük a munkaerőt általában lábfontok szerint. Igaz, hogy a súly alkalmazása hajtó erőül oly esetekben nem lenne gyakorlatilag előnyös, midőn a súlyt saját karunk erejével kellene emelni, mert egyszerűebb volna ilyenkor magát a gépet karunkkal mozgatni. Az óránál a súlyt azért alkalmazzuk, hogy ne kelljen egész napon át kerekei mellett állanunk, mint ezt tennünk kellene, ha közvetlenül akarnók mozgatni. Midőn az órát felhúzzuk, bizonyos munkaerő készletet halmozunk fel benne, mely a következő 24 óra szükségletének fedezésére szolgál.

Másként van a dolog, ha maga a természet emeli a súlyt, melynek munkáját hasznunkra fordíthatjuk. Ez ugyan nem történik a szilárd testekkel, legalább nem elég szabá-

* Az itt említett munka-mérték nem egyéb, mint a munka gyakorlati vagyis technikai mértéke, melyet a tudományos mértékbe átszámíthatunk, ha azt a nehézség intenzitásával szorozzuk.

lyosan, hogy abból hasznót huzhatnánk, de bőségesen történik ez a vízzel, mely a meteorologiai folyamatok által a hegyek magaslatára emeltetik, s aztán onnét ismét aláfol. A víz súlyát hajtó erőül használjuk a vízi malmoknál, és pedig legközvetlenebbül az ú. n. felülesapó vizikerekeknél,



12-ik ábra.

minőt a 12-ik ábra mutat. Kertülettükön sorban nyílt szekrények vannak alkalmazva, melyek víztartókul szolgálnak s a keréknek a szemlélő felé fordított oldalán felfelé nyílnak, a belső, elfedett oldalon pedig nyílásaikat lefelé fordítják. A víz *M*-nél felülről az előálló szekrényekbe foly, lent *F*-nél pedig, hol a szekrények nyílása lefelé kezd hajolni, ismét

kiömlik. A kerék kerületén alkalmazott szekrények közül e szerint a szemlélő felé fordítottak mindig tele vannak, az előle elfödöttek pedig mindig üresek; az elsőket viztartalmuk nyomja, az utóbbiakat nem. A víz súlya tehát folytonosan hat a kerék egyik oldalára, s azt lefelé húzván, a kereket forgásba hozza; a kerék másik oldala pedig e forgásnak ellent nem áll, mert vizet nem tartalmaz. Lényegében véve itt is az alácső víznek súlya az, mi a mozgást létrehozza, s így a hajtó erőt szolgáltatja. Könnyen beláthatjuk azonban, hogy a vizsúlynak, mely a malmot hajtja, a kerék mozgatása végett itt is szükségképen alá kell esnie, s hogy a víz, midőn alól megérkezett, súlyából mit sem veszített, de a kereket tovább mozgatni még sem képes, ha csak az emberi kar vagy valamely más természeti erő segélyével útjának magasabb helyzetébe vissza nem emeltetik. Ha a víz a malomtörök alsó részéből még mélyebb helyekre eshetik alá, úgy még más malomkerekek hajtására is használtathatik. Midőn végre pályájának legmélyebb helyére, a tengerbe érkezett, úgy a föld vonzásától nyert munka erejének utolsó maradványa is kimerült, s ekkor súlya új munkát nem végezhet mind addig, míg újra a magasba nem emeltetik. Meteorologiai folyamatok az utóbbi munkát valóban elvégzik, miből azt látjuk, hogy e folyamatokat is a munkaerő forrásainak kell tekintenünk.

A vizerő az első szervetlen erő volt, melyet az ember saját és házi állatainak ereje helyett munka végzésére felhasználni tudott. Strabo tanúsága szerint már a természetismereteiről egyébként is híres Mithridates pontusi király ismerte a vizerő alkalmazását, s palotája mellett vízi kerék mozgott. A rómaiaknál az első császárok uralkodása alatt hozattak ezek alkalmazásba. Vizi malmokat a hegyes vidékek völgyeiben még ma is találunk mindenütt, hol gyors folyású és rendszeren bő patakok és folyók vannak. A vizierőt egyáltalában mindazon czélok elérésére alkalmazva találjuk, melyek gépek által elérhetők, s melyekre elegendő

munkaerőt bir szolgáltatni. Segélyével malmokat hajtunk, melyek gabnát örölnek, vagy fűrészmalmodkat, hámorokat, zúzóműveket, fonógyarakat, szövőszéket stb. A legolcsóbb hajtó erő ez, mely a természet kimeríthetetlen készletéből az embernek folytonosan segítségére jó; de helyhez van kötve s csak hegyes vidékeken áll gazdagon rendelkezésünkre, míg a sík vidéken terjedelmes csatornázásra van szükség, hogy a víz hajtó erejéből csak némi hasznót húzhassunk.

Mielőtt másnemű hajtó erők megbeszélésére térnénk át, egy kételyt kell eloszlatnom, mely könnyen előállhatna. Tudjuk, hogy a gyakorlatban csigák, emeltyűk s egyéb olyan gépek vannak alkalmazásban, melyek segélyével nagy terheket aránylag csekély erőfeszítéssel lehet felemelni. Gyakran látjuk azt, hogy egy vagy két munkás oly súlyos köveket von fel magas épületek tetejére, melyeket közvetlenül megmozdítani sem birna, vagy hogy egy vagy két munkás emelőcsiga segélyével a legnehezebb csomagokat a hajókból a partra emeli. Ha tehát egy nagy s nehéz súlyt használtunk volna valamely gép mozgatására, nem volna-e lehetséges azt emelőcsigák vagy emeltyűk segélyével minden megerőltetés nélkül újra felemelni, úgy hogy az még egyszer hajtó erő gyanánt szolgáljon; nem lehetne-e ily módon jelentékeny hajtó erőt teremteni a nélkül, hogy arra a súly emelésénél nagy erőmegfeszítést kellene fordítanunk?

Azt felelhetjük erre, hogy ez eszközök, a mily mértékben könnyebbitik pillanatnyilag a megerőltetést, oly mértékben hosszabbítják tartamát, úgy, hogy alkalmazásuk által végre semmi munkaerőt nem nyerünk.

Tegyük fel, hogy négy munkásnak egyszerű csiga körül tekert kötél segélyével négy mázsányi súlyt kellene emelnie. Valahányszor a kötelet négy lábbal aláhúzzák, a súly mindannyiszor négy lábbal emelkedik. Függesszük most ugyanazon súlyt egy négy csigából álló csigasorra, minőt a 13-ik ábra mutat. Egyetlen munkás képes lesz most



13-ik ábra.

a súlyt ugyanazon erőmegfeszítéssel felemelni, mint akkor, midőn negyedmagával működött. De ha most a munkás a csigasor kötelét négy lábbal húzza alább, akkor a súly csak egy lábbal emelkedik, mert a hossz, melylyel a kötelet a -nál lehúzza, a csigasor négy kötelére egyenletesen oszlik el, s így mindenikök csak ama hossz negyedével rövidül. Egy munkásnak tehát négyszer oly soká kell dolgoznia, mint négy munkásnak, hogy a súlyt ugyanazon magasságra emelje. A végzett munka azonban ugyanaz lesz, akár négy munkás egy negyedóráig, akár egy munkás egy óráig dolgozott.

Hogy itt az emberi munkát súly munkája által helyettesíthessük, függeszszünk a csigasor alsó végére 400 fontnyi súlyt; a kötél végére pedig a -nál, hol azt rendszeren a munkások szokták húzni, 100 fontnyi súlyt. A csigasor akkor egyensúlyban lesz és karunk jelentékeny megerősítése nélkül mozgatható. A 100 fontnyi súly süllyed, a 400 fontnyi emelkedik; s így a nehéz súlyt minden egyéb említésre méltó erő kifejtés nélkül csupán a könnyebb súlynak

súlyesztése által emeltük. De ne feledjük azt sem, hogy a könnyebb súly négyszer annyira süllyedt, mint a mennyire a nehezebb felemelkedett. Száz font négy lábbal szorozva csak úgy négyszáz lábfontot ad, mint négyszáz font egy lábbal szorozva. 7

Az emeltyűk különböző nemei e tekintetben a csigák módjára működnek. Legyen ab (14-ik ábra) egy egyszerű, kétkarú emeltyű, mely c -nél meg van támasztva, s melynek egyik karja cb négyszer oly hosszú, mint a másik ac . Függesszünk b végére egy fontnyi, másik a végére pedig négy fontnyi súlyt, s az emeltyű egyensúlyban lesz, úgy, hogy azt számításba nem jövő erőmegfeszítéssel $a'b'$ helyzetbe hozhatjuk, melyben a nehéz négy fontnyi súly emelkedett,

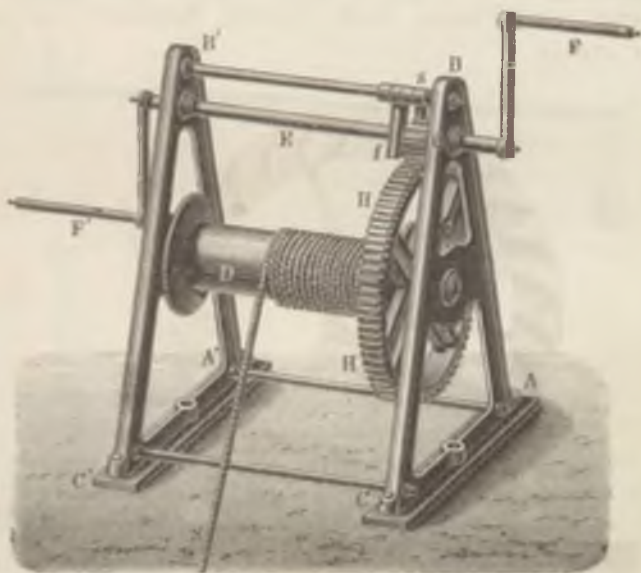


14-ik ábra.

a könnyebb egy fontnyi pedig süllyedt. De jegyezzük meg jól, hogy azért munkát ez esetben sem nyertünk, mert ha a nehéz súly egy hüvelykkel emelkedett, akkor a könnyebb négy hüvelykkel süllyedt, már pedig négy fontszor egy hüvelyk csak annyi munka, mint egy fontszor négy hüvelyk.

A legtöbb szilárd géprészeket más alakba öntött, összetett emeltyűknek tekinthetjük. A fogaskerék például nem egyéb, mint az emeltyű bizonyos sorozata, melyeknek végei az egyes fogak által vannak kijelelve, s melyeknek egyike

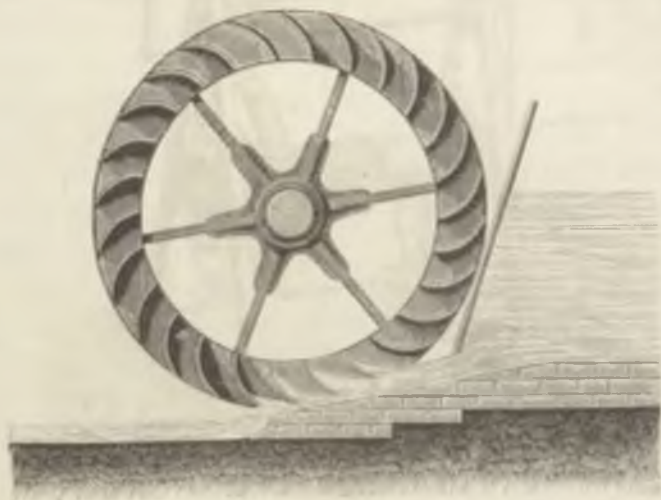
a másik után jó tevékenységbe, a mint az illető fog a szomszédos hajtó művet megfogja, vagy az által meg lesz fogva. Tekintsünk például a 15-ik ábrában rajzolt felhúzó gépre. A hajtó keréknek, mely a forgattyú tengelyén van megerősítve, 12 foga legyen, a HH fogas keréknek pedig hatszor annyi, tehát 72. Hatszor kell itt a forgatyút megforgatnunk, míg a fogaskerék H s vele a hozzá erősített henger D egy forgást tesz, s míg a súlyt hordó kötél a henger kerületének hosszával emelkedik. A munkás tehát hatszor annyi ideig, de az erőnek csak egy hatodrésszel fog dolgozni, mint akkor, midőn ugyanezen munkát a D henger közvetlen forgatása által végezi. Mindezen gépekre és géprészekre



15-ik ábra.

nézve azt találjuk, hogy használatuknál az erő kisebbedik, akkor ha a munkavégzés ideje nagyobbodik; s megfordítva, az erő nagyobbodik, ha a munkavégzés ideje kisebbedik; de hogy maga a munka nagyságát egy gép sem növeszti.

Az imént leírt felülesapó malomkerekeknél a víz súlya által gyakorol hatást. Malomkerekeink egy másik fajánál az ú. n. alulesapó kerekeknél, minőt a 16-ik ábra mutat, a víz csupán lökése által működik. E kerekeket ott szoktuk használni, hol a magasság, melyről a víz aláfol, nem elég jelentékeny arra, hogy a vizet a kerék felső részére ömleszthes-sük. Alsó részükkel az áramló vízbe vannak meritve, mely a lapátokba ütközik, s ezeket magával ragadja. Gyorsan áramló folyamokon, mint például a Rajnán vagy a Dunán, melyeknek esése alig észrevehető, ily kerekeket hasznosan alkalmazhatunk. Nem szükséges ugyanis, hogy a víznek szomszédságukban nagy esése legyen, elég ha a kellő sebességgel érkezik oda. Ez esetben a munkaerőt a víznek sebessége szolgáltatja, mely a kerék lapátaira gyakorolt lökést okozza.



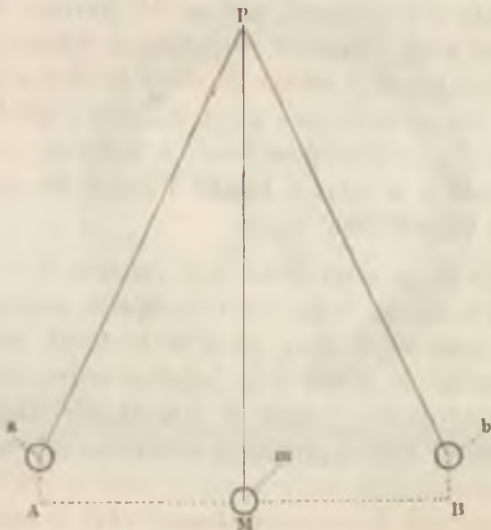
16-ik ábra.

A sebesség ilyenén hatására egy más példát a szél-malmok szolgáltatnak, minőket északi Németország, Németalföld és Magyarország rónáin a folyó vizek hiányában al-

kalmaznak. Itt a mozgó lég, t. i. a szél az, mely a malmom szárnyait hajtja. A nyugvó lég ép oly kevésbé képes a szélmalmot hajtani, mint a nyugvó víz a vízi malmot. A hajtó erő tehát ez esetekben a mozgatott tömegek sebességéből ered.

A puskagolyó, kezünkben tartva, a legártatlanabb dolog a világon; nehézségével valami nagyobb hatást nem bir gyakorolni; de ellőve s nagy sebességgel fölszerelve, romboló hatalma korlátot nem ismer.

Ha a kalapács fejét csendesen egy szegre helyezem, úgy csekély súlya vagy karomnak nyomása nem lesz elég arra, hogy a szög a fába szorittassék. Midőn azonban a kalapácsot meglóditva nagy sebességgel ejtjük alá, akkor az új erőt nyer, mely még az említettnél jelentékenyebb ellenállásokat is képes legyőzni.



17-ik ábra.

E példából látjuk, hogy a mozgatott tömeg sebessége hajtó erőt képvisel. A mechanika a sebességet,

a mennyiben az hajtó erőül szolgál és munkát végezni képes, eleven erőnek hívja. Ez elnevezést szerencsésen választottnak nem mondhatjuk, könnyen tévedésekre szolgáltathat alkalmat, ha az élő lények erejére gondolunk. A kapalács és a puskagolyó példájából látni lehet, hogy a sebesség elvész, mihelyest munka végzésére fordittatik. A vizi malomnál és a szélmalomnál mégis pontosabban kellene vizsgálnunk a víz- és légrészek mozgását, ha meg akarnánk győződni arról, hogy a munka, melyet végeztek, sebességüknek egy részét felemésztette.

A sebesség és a munkaerő kölcsönös viszonya minden esetre legközvetlenebbül előtűnik az egyszerű ingán, minőt könnyen előállithatunk, ha valamely súlyt fonalra függesztünk. Legyen M a 17-ik ábrában egy ilyen gömbalakú súlyos test; legyen AB a középpontján átmenő vízszintes egyenes, és P e fonálnak felső, megerősített vége. Ha most az M súlyt oldalt A -felé húzzuk, úgy az Ma köríven fog mozogni, melynek a vége valamivel magasabban fekszik, mint a vízszintes egyenesnek A pontja; a súlyt tehát Aa magassággal emeltük. Karunknak épen ezért bizonyos munkát kell végeznie, midőn a súlyt a -ba viszi. A nehézség pedig ellentáll e mozgásnak s a súlyt a lehető legmélyebb pontba, M -be iparkodik visszahajtani.

Ha tehát a súlyt előbb a -ig emelem, s ott elbocsátom, úgy az a nehézség erejét követve M -felé mozog, s oda érve bizonyos sebességet nyer, de nem nyugszik meg, úgy mint előbb, hanem M -en túl b -ig halad, s végre ott egy pillanatig megállapodik, miután B felé ép oly nagy ívet irt le, mint előbb A felé, s miután a vízszintes egyenes felett Bb hosszal emelkedett, mely a másik oldalon elért Aa magassággal egyenlő. Az inga b -nél megfordul, s ugyanazon úton M -en át ismét a -hoz ér és így tovább, mindaddig, míg lengései a lég ellenállása és a surlódás által folytonosan gyengítettén, végre megszűnnek.

Látjuk ebből, hogy annak okát, hogy a súly, midőn a -ból jöven, M -en keresztül megy, ott meg nem áll, hanem a nehézség erejének ellenében b -felé emelkedik, csupán sebességében kell keresnünk. A sebesség, melyet akkor ért el, midőn az Aa magasságról lefelé mozgott, arra képesíti, hogy az Aa -val egyenlő Bb magasságra újból felemelkedjék. A mozgatott tömegnek (M) sebessége tehát e tömeget emelni, azaz mechanikai értelemben munkát végezni képes. Ugyanez történik, ha e sebességet a felfüggesztett súlylyal lökés által közöltük volna.

Egyszersmind azt tanuljuk ebből, mikép kell a sebesség munkaerejét, vagy más szavakkal, a mozgatott tömeg eleven erejét mérnünk; lábfontokban kifejezve azon munkával egyenlő az, melyet ama tömeg végezni bír, miután már sebességét arra használtuk fel, hogy a tömeget a lehető legkedvezőbb körülmények között a lehető legnagyobb magasságra emeljük.* A sebesség iránya nem jön itt tekintetbe, mert midőn a súlyt a fonál körül forgatjuk, a lefelé irányzott mozgást könnyen felfelé irányzottá változtathatjuk.

Az inga mozgása világosan előtűnteti azt is, miként alakulhat át a munkaerő egyik neme a másikba. Az a és b pontokban (17-ik ábra), a tömegnek nincs sebessége, de emelve van az Aa vagy Bb magasságra; az m pontban ellenben a lehető legmélyebb helyzetet foglalja el, de sebessége van. Midőn a súly a -ból m -be mozog, az emelt súly munkája eleven erővé változik, s midőn a súly m -ből b -ig folytatja útját, az eleven erő az emelt súly munkájává alakul. A munka tehát, melyet karunk az ingával kezdetben közölt,

* Az eleven erő mértéke az elméleti mechanika értelmében nem egyéb mint a súly és a sebesség négyzetének fél szorzata. Ha e mennyiséget a munka technikai mértékére akarjuk átszámítani, úgy még a nehézség intenzitásával (a szabad esés közben egy másodperc alatt elért sebességgel) kell sokszorozni.

lengései közben nem vész el, — legalább a mennyiben a lég ellenállása s a surlódás befolyásától eltekinthetünk, — de nem is gyarapodik, hanem alakját folytonosan változtatja.

Térjünk most át egyéb mechanikai erőknek, s különösen a ruganyos testek erőinek vizsgálatára. Zsebóráinkban s némely fali óráinkban a súlyok helyett aczélrugókat találunk, melyek az óra felhúzása alkalmával megfeszítettnek, s fesztő erejüket csak akkor veszítik el, midőn az óraművet már egy napon át mozgatták. A rugó megfeszítésére karunk erejét használjuk; karunk győzi le a rugó ruganyos ellenálló erejét, valamint az előbb tárgyalt esetben a súlynak nehézségét. A megfeszített rugó azonban munkát képes végezni, s e képességet az óramű forgatása közben lassanként felemészti.

Midőn a kéz-tíjjat megfeszítjük s kilőjük, a megfeszített rugó a nyilat mozgásba hozza, s vele sebesség alakjában munkaerőt közöl. Hogy az ívet megfeszítsük, karunknak néhány másodperczig munkát kell végeznie; e munka a nyíllal a kilövés pillanatában közöltetik. A kéztíjj tehát arra szolgál, hogy az egész munkát, melyet karunk vele a megfeszítés tartama alatt közölt, rendkívül rövid pillanatra gyűjtse össze; míg az óra a vele közlött munkaerőt egy vagy több napra osztja el. Munkát egyik esetben sem nyerünk, de az, melyet karunk az eszköznek átadott, czélszerűen fog kiadatni.

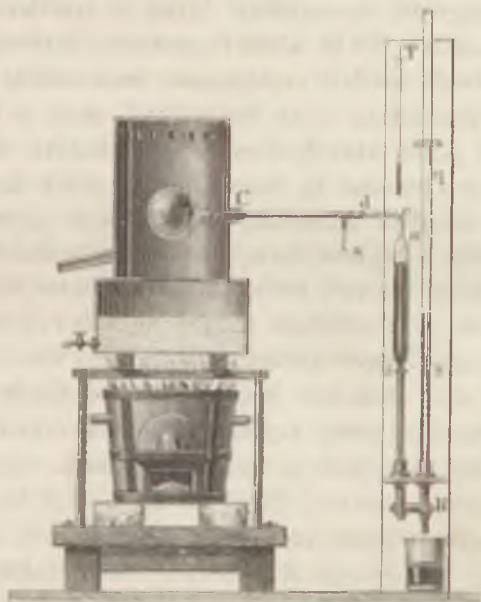
A ruganyos test megfeszítését azonban karunk megértetése nélkül más természeti folyamatok útján is eszközölhetjük. A gázok erre különösen jó alkalmat szolgáltatnak.

Midőn például puskaporral töltött fegyvert kilövünk, az eléggő puskaapor nagy része rendkívül magas hőmérsékű gázokká változik át, melyek a szűk térben, hol keletkeztek, roppant nyomás által visszatartva, nagy erővel iparkodnak kiterjedni. Erőszakos kiterjedésük közben a golyót maguk előtt hajtják, s vele nagy sebességet közölnek, melylyel, mint a munkaerő egyik alakjával, már megismertedtünk.

Ez esetben tehát karunk megerőltetése nélkül munkát nyertünk, de valami mégis elveszett, t. i. a puskapor, melynek alkatrészei oly vegyületekké alakultak át, melyekből azokat előbbi állapotukba egykönnyen nem vihetjük vissza. A munkaerőt tehát ez esetben vegyi folyamat útján nyertük.

Még sokkal nagyobb mértékben nyerünk ruganyos erőt gázok hevítése által.

Vegyük a példa egyszerűsége kedvéért a légköri levegőt. A 18-ik ábra egy eszközt mutat, melyet Regnault a

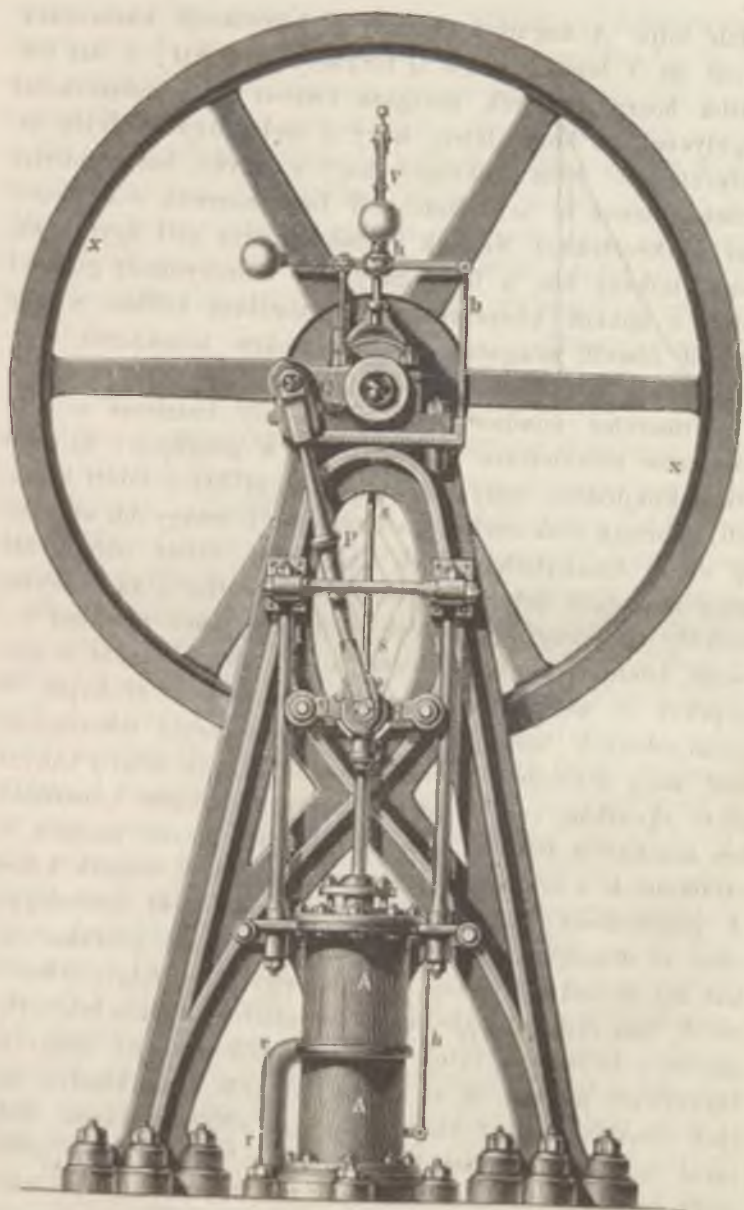


18-ik ábra.

hevitett gázok táguló erejének mérésére használt. Ha pontosabb mérésekre nincs szükség, úgy ez eszköznek még sokkal egyszerűbb szerkezetet adhatunk. *C*-nél száraz léggel telt üveggolyót látunk, a forróvíz gőzei által megmelegítendő bádogedénybe betolva. E golyó valamely folyadékkal

telt U -alakú Ss csővel van kapcsolatban, melynek szárai az R csap bizonyos állása mellett egymással közlekednek. Ha a folyadék az Ss csőben egyensúlyban volt akkor, midőn a golyó hideg volt: úgy az s szárban felemelkedik s végre felül kiömlik, mihelyest a golyót felhevítjük. Ha ellenben a folyadékot a golyó hevítése közben egyensúlyba hozzuk az által, hogy annak egy részét R -nél kieresztjük, úgy az a lehülés közben n felé fog felszívadni. Mind a két esetben a folyadék egy részének felemelése s ez által munka végeztetik.

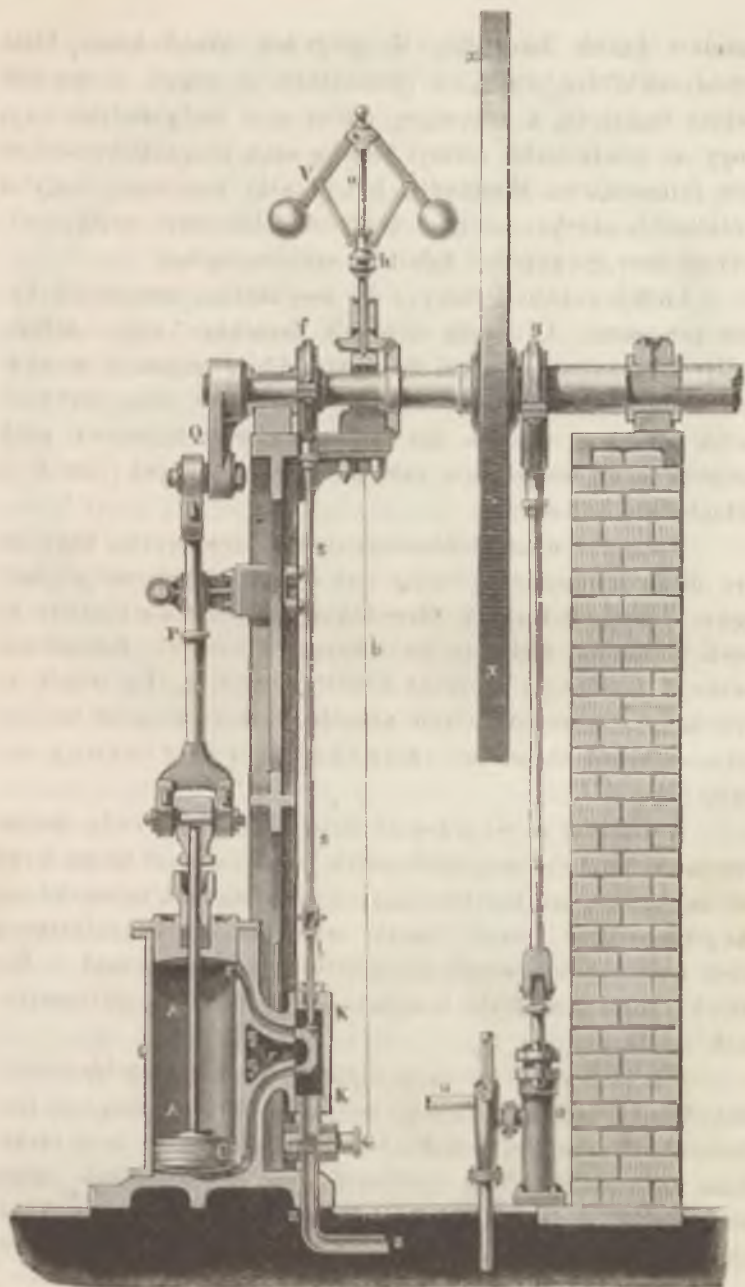
Legnagyobb arányaiban látjuk e kísérletet a gőzgépeknél. A golyó (18-ik ábra) légtartalma helyett, mely bizonyos hőmérsék mellett tágulásának maximumát csakhamar eléri, a gőzkazánban vizet használunk, mely a hevítés által lassanként gőzzé alakul, s mely így lehetővé teszi, hogy a kazánban folytonosan új, összenyomott gázok keletkezzenek. A vízgőz azonban, a meddig vízgőz, nem egyéb ruganyos gáznál, mely a légköri levegő módjára tágulni törekszik. A folyadék-oszlop helyett pedig, mely az utolsó kísérletünkönél felemeltetett, a gőzgépben szilárd dugattyú lesz felemelve, mely mozgását egyéb szilárd géprészekre viszi át. A 19-ik ábrában a felső nyomású gőzgép működő alkatrészei előlről, a 20-ik ábrában pedig keresztmetszetben vannak lerajzolva. A gőzkazán, melyben a gőz előállítatik, nincs oda rajzolva; a gőz zz csövön (20-ik ábra) át AA hengerbe tolul, melyben egy szorosan záró C dugattyú mozog. Azon részek, melyek zz cső és az AA henger között fekszenek, t. i. a tolószelep a KK szekrényben, és a két cső d és e arra szolgál, hogy a gőz a szelep állása szerint majd d -én át a henger alsó részébe a dugattyú alá, majd annak felső részébe a dugattyú fölé nyomulhasson, ez alatt a henger másik részében szabadon kifelé tolulván. Ha gőz a dugattyú alá kerül, úgy felfelé hajtja azt; mihelyest azonban a dugattyú fent megérkezett, a tolószelep állása megváltozik, s a gőz a dugattyú fölé nyomulván, azt újra



19-ik ábra.

lefelé tolja. A dugattyú rúdja a P könyökrúd közbenjárásával az X lendítő kerék Q forgantyújára hat, s azt forgásba hozza. E kerék mozgása viszont az s rúdszerkezet segélyével azt hozza létre, hogy a szelep annak idején áthelyeztessék. Nem szükséges, hogy e helyen, bár mennyire érdekes lenne is az, közelebbről foglalkozzunk e mechanikai szerkezetekkel. Nekünk itt csupán arra kell figyelnünk, hogy miként hoz a hő ruganyosan összenyomott gőzöket létre, s miként kényszerül a gőz, tágulása közben a gép szilárd részeit mozgatva, használatunkra munkaerőt szolgáltatni.

Ismeretes mindannyiunk előtt, mily hatalmas s mily változatos műveletekre alkalmasak a gőzgépek; az ipar óriási kifejlődése, mely századunkat az előbbiektől fölött kitiönteti, jóformán csak ezeknek köszönhető. Legnagyobb előnyünk az előbb használatban levő hajtó erők fölött abban áll, hogy nincsenek helyhez kötve. A szénkészlet s az aránylag csekély vízmennyiség, melyek hajtó erejöknek forrásait képezik, könnyen elvihetők bárhova. Mi több, magukat a gőzgépeket is mozgókká tehetjük, mint ezt a gőzhajók és gőzmozdonyok mutatják. E gépek segélyével lehetségessé vált, hogy a földfelület bármely pontján, úgy, mint a bányák mély aknáiban, vagy a tenger közepén csaknem kimeríthetetlen munkaerőt fejtünk ki; míg ellenben a vízi malmok és szélmalomok a szárazföld bizonyos pontjaihoz vannak kötve. A gőzmozdony ma oly nagy számban s oly sebességgel viszi az utasokat, hogy elődeink, kik szerény postakocsijokat, hat utassal belsejében, óránként egy mértföldnyi sebességgel, már roppant haladásnak tekintették, méltán hihetetlen mesének tarthatták volna azt. Gőzhajók a szelek irányától függetlenül metszik át az oceánt, viharok ellen küzdve, melyek vitorlás hajókat útjokból messze eltávolítanának, céljukat a meghatározott időben bizton elérik. Azon előny, mely az egyes munkások csoportosulásából nagyobb városokban, hol a víz- és szélerő rendszeren hiányzik, az ipar



20-ik ábra.

minden ágaira háramlik, a gőzgépek alkalmazása által érvényesíthetővé válik, a mennyiben e gépek mindenütt helyet foglalván, a szükséges durva erőt szolgáltatják, úgy, hogy az értelmesebb emberi munka csak magasabb czélokra lesz felhasználva. Mindenütt, hol a talaj minősége, vagy a közlekedés előnyei az ipar fejlődését lehetővé teszik, erőforrásként gőzgépeket találunk alkalmazásban.

Látjuk ezekből, hogy a hő mechanikai munkaerőt képes teremteni. Az eddig tárgyalt esetekben úgy találtuk, hogy a bizonyos physikai folyamat által létrehozott munkaerő mennyisége bizonyos határokon túl soha sem növekedhetik s hogy a végzett mű által maga a természeti erők további munkaképessége csökken. Mily szerepet játszik e tekintetben a hő?

E kérdés döntő fontossággal bírt arra nézve, hogy az erő megmaradásának törvénye az összes természeti jelenségekre kiterjesztethessék. Megoldása legelősebben tüntette ki azon ellentétet, mely az itt tárgyalt viszonyok felfogására nézve a régi és az új nézet között fennállott. Ez okból az erő megmaradásának elvén alapuló természetnézetet a physikusok közül sokan mechanikai hőelméletnek nevezik.

A régiebb nézet a hőt anyagnak tekintette, mely ámbár rendkívül finom és megmérhetetlen volna, de azért mégis birna az anyagnak ama lényeges alaptulajdonságával, miszerint azt megsemmisíteni, vagy annak mennyiségét megváltoztatni nem lehet. A természeti folyamatok nagy számánál a hőmérő által kimutatható hőmennyiséget valóban változatlanul találjuk.

Bár a hő, vezetés vagy sugárzás által, melegebb testekből hidegebbekbe átmehet, mégis a hőmennyiség, melyet amazok elveszitenek, emezekben a hőmérő által kimutathatóan újra fellép. Már régebben ismeretesek voltak egyes folyamatok, melyeknél, mint különösen a testek átalakulásánál, szilárd állapotukból cseppfolyó vagy gázalakú állapo-

tukba, a hő, legalább a hőmértőre nézve, elveszett; de ha a gázalakú test újra a cseppfolyó, s a cseppfolyó újra a szilárd állapotba visszavitetett, úgy ezen hőmennyiség, mely előbb elveszettnek látszott, újra előtűnt. Azt mondták ilyenkor, hogy a hő lappangó-vá vált. A cseppfolyó víz, e nézet szerint, a jégtől az által különbözik, hogy bizonyos mennyiségű kötött meleget tartalmaz, mely éppen azért, mert le van kötve, nem képes a hőmértőre átmenni, s arra hatást gyakorolni. A vizgőzben ugyanez okból még nagyobb mennyiségű hőanyag van lekötve. Ha tehát a gőzt lecsapódni hagyjuk, vagy a cseppfolyó vizet újra megfagyasztjuk, úgy éppen annyi hő válik szabaddá, mint a mennyi a jég olvadása és a víz elpárolgása közben lappangóvá vált.

Sok vegyi folyamatnál hő keletkezik, másoknál eltűnik. De még ezen jelenségeket is magyarázni lehetett azon feltevés segélyével, hogy a különböző vegyi elemek és vegyületek bizonyos lappangó hőt tartalmaznak, mely összetételük változása alkalmával majd szabaddá válik, majd kívülről pótlásra szorul. Pontos kísérletek még azt is mutatták, hogy azon hőmennyiség, mely valami vegyi folyamatnál, így például egy font tiszta szénnek szénsavvá égetésénél kifejlődik, mindig állandó, akár az elégetés lassan vagy gyorsan, akár egyszerre vagy fokozatosan eszközöltetnék. Mindez megegyeztethető volt azon feltevéssel, mely a régi hőelméletnek alapját képezte, hogy t. i. a hő nem egyéb, mint változatlan mennyiségű anyag. Az itt röviden említett természeti folyamatok terjedelmes kísérleti és mennyiségtani vizsgálódások tárgyául szolgáltak. Különösen a múlt század második felének s a század elejének nagy francia physikusai foglalkoztak e tárggyal, s azt a physika gazdag fejezetévé tették, melyben azon feltevással, miszerint a hőt anyagnak kell tekinteni, minden megegyezni látszott. A hőmennyiség változatlanságát, mely mind ama folyamatoknál mutatkozott, az időben más úton magyarázni nem is tudták. A hőnek viszonya azonban a mechanikai

munkához ekkoráig nem méltattatott szigorú vizsgálatra. Csak egy francia mérnök, Sadi Carnot, a francia forradalom híres hadügyminiszterének unokaöccse, tett kísérletet (1824) a hő által végzett munka létrejöttét azon feltevés által magyarázni, hogy a hőanyag a gázok módjára kiterjeszkedni törekszik. E feltevés alapján a hő munkaképességére nézve egy sajátos törvényt állított fel, mely újabb időben Clausius által átalakítva, még ma is az úgynevezett mechanikai hőelmélet alapkövei között foglal helyet, s melynek gyakorlati következtetései, a mennyiben a tapasztalással összehasonlíthatók voltak, már akkor is helyeseknek mutatkoztak.

A mellett a tapasztalat még azt is mutatta, hogy valahányszor két mozgó test egymáshoz surlódik, mindannyiszor hő keletkezik, bár annak oka egészen ismeretlen volt.

E tényt mindenki ismeri; a kocsikerék rozszúl kent és azért erősen surlódó tengelye néha felhevül annyira, hogy meggyullad, gyorsan forgó gépkerekek vastengelyei pedig néha az ágyakhoz forradnak. Már kevésbbé heves surlódásnál is jelentékeny hő fejlődik ki. Minden gyufa tanuszkodhatik erről, midőn azt surlódás által egy pontjában annyira felhevítjük, hogy ott a phosphortartalmu anyag meggyullad. Ha száraz tenyereinket erősen összenyomva egymáshoz dörzsöljük, úgy közvetlenül érezzük ama dörzsölési meleget, mely sokkal jelentékenyebb azon melegítésnél, melyet a kezek nyugodtan egymásra helyezve előidéznek; az égett szarvéhoz hasonló szag pedig, mely ilyenkor tenyereinkből kiárad, azt tanúsítja, hogy tenyerünknek szarúállományú felbőre felületesen meg lett pörköelve. Műveletlen népek fadarabokat dörzsölnek össze, hogy tüzet csináljanak. E célból egy hegyes, orsóalakú kemény fadarabot, puhafából készült alapra támasztva, a 21-ik ábrán kijelelt módon hoznak mozgásba.

Mig csupán szilárd testek surlódásáról volt szó, mely mindig egyes, a felületen fekvő részecsek leszakításával és

összenyomásával járt együtt, addig arra lehetett gondolni, hogy a dörzsölt testek szerkezetének bizonyos változásai



21-ik ábra.

lappangó hőt szabadítanak fel, mely aztán mint dörzsölési hő tűnik elő.

Hőt azonban folyékony testek dörzsölése által is hozhatunk létre, melynél a szerkezet változásáról és a lappangó hő felszabadulásáról szó sem lehet. Az első döntő kísérletet ez irányban e század elején Sir Humphrey Davy eszközölte. Lehűtött térben két jégdarabot dörzsölés által megolvasztott. A lappangó hő, melyet a közben az újonnan alakult víz felvett, a hideg jégből vezetés útján oda nem juthatott, s nem is keletkezhett a szerkezet megváltozása folytán; tehát dörzsölés folytán keletkezően, csakis a dörzsölés eredménye lehetett.

Valamint a dörzsölés következtében, ép úgy a tökéletlenül ruganyos testek ütközése közben is keletkezik hő. Ez történik például akkor, midőn kovával és aczállal tüzet ütünk, vagy midőn vasszüget erős kalapácsütésekkel kiegyenesítünk.

Ha a dörzsölés és a nem ruganyos ütközés mechanikai jelentőségét keressük, úgy azt találjuk, hogy ezek oly folyamatok, melyek által a mozgó földi testek elébb-utóbb nyugalásba hozatnak. Valamely mozgó test, melynek mozgása ellenálló erők által nem akadályoztatnék, örökké mozogna. Példát találunk arra a bolygók mozgásában. A földi testek mozgásánál azonban sohasem történik az, mert ezek más, nyugvó testekkel érintkezvén, ezek részéről folytonosan surlódást szenvednek. E surlódást kisebbíthetjük ugyan, de egészen megsemmisíteni nem bírjuk. Ha egy kereket hozunk mozgásba, mely pontosan dolgozott tengely körül forog, úgy az forgó mozgását sokáig folytatni fogja; még pedig annál tovább, mennél finomabb és simább a tengely, mennél tökéletesebben van az megkenve, s mennél csekélyebb nyomásnak van alávetve. Az ily kerékkel a meglökés pillanatában közlött mozgás eleven ereje a surlódás által lassanként mégis elvész. Eltűnik az, s a dolog felületesen megvizsgálva úgy néz ki, mintha a keréknek eleven ereje minden megfelelő pótlék nélkül egyszerűen megsemmisítettett volna.

Ha egy golyót sík pályán elgurítunk, úgy az tovább gurul mindaddig, míg mozgása megsemmisítettik, azon kis lökések által, melyeket reá a pálya egyenetlenségei surlódás alakjában gyakorolnak.

Az inga jól felfüggesztve, órákon át minden óramű segítsége nélkül mozoghat; a környező légből és a felfüggesztési pontban reá gyakorolt gyenge surlódás végre mégis nyugalásba hozza.

A kő, mely a magasból esik le, a földre érve bizonyos sebességgel bír; tudjuk, hogy az bizonyos mechanikai munkával egyenértékű; míg e sebesség, mint sebesség van meg, addig képesek vagyunk azt alkalmas berendezések által felfelé irányozni, s így arra használni, hogy a követ újból a magasba hajtsuk. A kő azonban rendesen a földhöz ütközik s ott nyugalomba jő; ez ütközet látszólag megsemmisíti a mozgást.

misíti a sebességet, s vele együtt a munkát is, melyet az végezni tudott volna.

Foglaljuk össze ezen a mindennapi életből merített példákat, s azon eredményhez jutunk, hogy: e surlódás és a nem ruganyos ütközés oly folyamatok, melyeknél mechanikai munka megsemmisíttetik, s a helyett hő keletkezik.

Joule-nak már előbb említett kísérletei egy lépéssel még előbbre vezetnek. Ő lábfontokban mérte meg azon munka mennyiségét, mely majd szilárd, majd folyékony testek surlódásánál megsemmisíttetik, s viszont azon hőmennyiséget is, mely a közben keletkezik. Így e két mennyiség között bizonyos állandó viszonyt állapított meg. Kísérletei ugyanis azt bizonyítják, hogy valahányszor a mechanikai munka rovására hő keletkezik, mindannyiszor bizonyos meghatározott munkamennyiség szükséges arra, hogy azon hőmennyiség keletkezzék, melyet a physikusok a hő egységgel választottak, t. i. azon hőmennyiség, mely egy gram víznek hőmérsékét a százfokú hőmérő egy fokával emeli. A hőegység keletkezésére felhasznált munka Joule legpontosabb kísérletei szerint azon munkával egyenlő, melyet egy gram 425 méternyi magasságból aláesvén, végezne.

Lássunk egynehányat azon kísérleti sorozatok közül, melyeket Joule módszerének végleges tökéletesítése eredményezett.

1. Kísérleti sorozat, melynél bádóg edényben zárt víz surlódás által melegített. Az edény belsejében függőleges tengely forgott, melyhez tizenhat lapát volt erősítve; az így keletkezett vízürvény az edényhez erősített válaszfalak által megtörtetett. E válaszfalakon nyílások voltak kimetszve, melyeken a lapátok átmehettek. Az egyenérték 424.9 méter* volt.

* Szokásosabb a hő mechanikai egyenértékét a hőegységnek megfelelő munka által kifejezni. Így ez esetben 424.9 gramméterről kellene szólnunk.

2. Két hasonló kísérleti sorozatból, melynél a surlódó folyadék higany volt, ez egyenérték 425, és 426·3 méterrel találtatott egyenlőnek.

3. Két más kísérleti sorozat folyamában, hol egy kúp alakú vasgyűrű egy másikhoz dörzsölődött, s mindkettő higanynyal vétetett körül, 426·7 és 425·6 méter találtatott.

Ez arány a hő s a megfelelő munka mennyisége között a megfordított folyamatra nézve, azaz akkor is helyesnek találtatott, midőn hő munkát végez. Hogy e folyamatot lehetőleg könnyen ellenőrizhető viszonyok között tanulmányozhassuk, czélszerűbb lesz, ha állandó gázokat veszünk tekintetbe s nem gőzöket, melyek különben gyakorlati szempontból nagy munkamennyiségek előállítására az állandó gázoknál alkalmasabbak. A gázok, lassan kiterjedvén, lehűlenek. Joule mutatta ki legelőször, hogy mi ezen lehülésnek oka. A gáznak ugyanis kiterjedése közben azon ellenállást kell legyőznie, melyet a kiterjedés ellenében a lég nyomása és az edénynek lassanként engedő falai gyakorolnak; vagy ha elégtelen lenne ezen ellenállást legyőzni, legalább segítségére van az észlelő karjának, mely a kitéágulást eszközli. A gáz tehát valóban dolgozik, s e munkáját hőtartalmának rovasára végzi. Ez magyarázza a lehülést. Midőn azonban a gáz tökéletesen légüres térbe gyorsan átömlik, úgy ellenállásra nem találván, mint Joule megmutatta, egyáltalában nem is hűl le; vagy ha egyes részei lehűlenek is, más részek megmelegszenek akként, hogy hőmérsékletük a rögtöni kiterjedés után kiegyenlítődvén, épen akkora, mint az előtt volt.

Mennyi hőt fejlesztenek a különböző gázok az összenyomatáskor? mennyi munka szükséges összenyomatásukra? vagy megfordítva, mennyi hő tűnik el, midőn saját nyomásukkal egyenlő ellennyomás alatt terjednek ki? mennyi munkát végeznek ez ellennyomás legyőzése közben? mind e kérdéseket részben már régebbi physikai kísérletek, részben Regnault-nak újabb, rendkívül tökéletesített módszerek szerint eszközölt kísérletei által döntötték el. A

legpontosabb, ilyenmő adatokra alapított számítás a hő mechanikai egyenértékére nézve, következő értékekre vezetett:

kísérletekből légköri levegővel . .	426·0 méter.
„ oxygénnel	425·7 „
„ nitrogénnel	431·3 „
„ hidrogénnel	425·3 „

Ha e számokat összehasonlítjuk azokkal, melyek a hő és mechanikai munka egyenértékére nézve a surlódás tanulmányozásából következtek, úgy megegyezéseiket valóban meglepőnek mondhatjuk, különösen ha meggondoljuk, hogy e számértékek különböző észlelők által, s különböző módszerek útján találtattak.

Az eredmény tehát a következő: bizonyos meghatározott hőmennyiség bizonyos meghatározott munkamennyiséggé alakulhat; e munkamennyiség azonban újra hővé, még pedig épen oly nagy hőmennyiséggé alakulhat át, mint a melyből keletkezett; e munka és hő mechanikai értelemben egymással egyenértékűek. A hő csak új alak, melyben a munkaerő előtűnhetik.

E tények, melyek azt mutatják, miszerint a hőnek mennyisége nem változatlan, össze nem férnek azon nézettel, mely szerint a hőt anyagnak kellene tekintenünk. Hőt lehet teremteni és megsemmisíteni; teremteni akkor, midőn a testek látható mozgásának eleven erejét megsemmisítjük; és megsemmisíteni akkor, midőn hőt látható mozgássá alakítunk. Inkább azt kell tehát következtetnünk, hogy a hő maga is a mozgásnak egyik neme, még pedig a testek legkisebb elemi részeinek láthatatlan mozgása. Valahányszor tehát a surlódás és ütközés közben látszólag mozgás vész el, mindannyiszor nem vész az tottleg el, hanem csak a nagy látható tömegekről legkisebb részeikre megy át. A gözgépnél ennek ellenkezője történik, mert ott a felhevített gázrészecskék belső láthatatlan mozgása alakíttatik át a dugattyú mozgásává.

Milyen ezen mozgás, azt eddigelé csakis a gázokra nézve tudhatjuk némi valószínűséggel. A gázrészecskék, valószínűleg egyenes utakon, minden irányban össze-vissza mozognak, míg más részecskékkel összeütközvén, vagy a falról visszapattanván, mozgásuk irányát megváltoztatják. Ez alapon a gázokat szűnyog-rajokhoz hasonlíthatjuk, melyek végtelenül kisebb és végtelenül tömöttebben összehalmozott részecskékből állanak. Ezen Kroenig, Clausius és Maxwell által érvényesített feltevés tetteleg számot ad a gázok összes jelenségeiről.

Az, mit a physikusok régebben a hőanyag állandó mennyiségének tartottak, nem egyéb, mint a hőmozgásnak összes munkaereje, mely mindaddig állandó marad, míg más alakba nem öntetik, vagy a munka más alakjaiból újra nem keletkezik.

A természeti erők egy másik munkaképes alakjára, a vegyi erőkre fogunk most áttérni. Az erők e nemével már volt dolgunk. A puskapor vagy a gőzgép hatásait végelemzésben ezek hozzák létre, a mennyiben a hő, melyet a gőzgép felhasznál, a szén elégetéséből, tehát vegyi folyamatból nyeretik. A szén elégetése nem egyéb, mint a tiszta szén és a légben foglalt oxigénnek vegyi egyesülése, mely e két anyag vegyrokonsági ereje folytán megy véghez.

Ez erőt vonzó erőnek tekinthetjük, mely azonban csak akkor működik, és pedig rendkívüli erélylyel, midőn a két anyag legkisebb részei legszorosabb szomszédságba jönnek. Az elégetésnél ez erők tetteleg működésbe lépnek, a szén- és az oxigénatomok elébb egymás felé rohanva, utóbb összetapadnak, s egyesülésök által egy új anyagot alkotnak, a szénsavat, melyet mindannyian ismertünk mint azon gáznemet, mely az erjedő s némely megerjedt italokban, így a sörben és a pezsgőben felfelé száll. E vonzó erő a szén és az oxigén atomjai között munkát végez épen úgy, mint azon vonzó erő, melyet a föld nehézség alakjában az emelt súlyra gyakorol. Midőn a súly földre esik, rázkódtatást

okoz, mely részben hangrezgések alakjában tovaterjed, részben mint hőmozgás a testben marad. Ugyanazon eredményt kell várnunk a vegyi vonzásoktól is. Midőn a szén- és oxigénatomok egymás felé rohanva szénsavvá egyesültek, az újonnan alakult szénsavrészecskéknek heves molekuláris mozgásba, úgynevezett hőmozgásba kellett jönniök. S valóban így van ez. Egy font szén oxigénnel szénsavvá égettetvén, annyi hőt szolgáltat, a mennyi arra szükséges, hogy 80 font víz a fagypontról a forrpontra hevítettessék, s valamint a súlynak esése közben mindig ugyanaz a munkameennyiség végeztetik, akár az lassan, akár gyorsan hull alá, ép úgy a szén elégetése közben is mindig ugyanaz a hőmennyiség áll elő, akár az égés gyorsan, akár lassan, akár egyszerre, vagy fokozatosan eszközöltetnék.

Ha a szénét elégetjük, úgy helyette s a felhasznált oxigén helyett mint gázalakú égési terményt, szénsavat nyerünk. Közvetlenül az elégetés után izzó az. Ha később hevét a környezetnek által is adta, azért a szénét, az oxigént s az ezek közt működő vegyrokonsági erőt azontúl is magában foglalja. Csakhogy e rokonsági erő most csupán abban nyilvánul, hogy a szén- és oxigénatomokat szorosan összetartja, de munkát vagy hőt létre nem hozhat, ép úgy nem, mint a földre esett súly, mely munkát nem végezhet, mielőtt külső erők által újra fel nem emeltetik. Miután a szénét elégettük, nincs érdekünkben, hogy a szénsavat megőrizzük; nem tehet nekünk már semmi szolgálatot, s azért inkább azon fáradsunk, hogy azt kéményeken át házainkból mennél előbb eltávolítsuk.

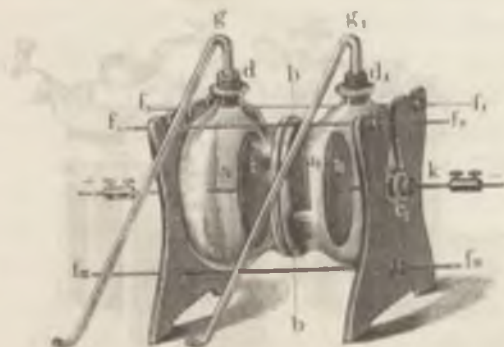
De lehetséges-e az, hogy a szénsavat újra alkatrészeire bontsuk, s az által velük újra azon hatásképeességet közöljük, melylyel egyesülésök előtt birtak? Körülbelül úgy, mint a súlynak hatásképeességét akkor helyreállítjuk, midőn azt a földről fölemeljük. Igenis, lehetséges. Látni fogjuk, hogy a növények életében csakugyan megtörténik ez; de lehetséges, bár csak hosszadalmas utakon, nem szerves fo-

lyamatok által is, melyeknek bővebb tárgyalása azonban feladatunktól messze elvezetne.

Egy más elemre, a hidrogénre nézve, mely épen úgy elég, mint a szén, ugyanezt könnyen és közvetlenül megtehetjük. A hidrogén a szén mellett az eléghető növényanyagok egyik alkatrészét képezi; lényeges alkatrésze a világító gáznak is, melyet szobáink és utcáink világítására használunk; elkülönzött tiszta állapotban szintén gázalómányú. Mindannyi gáz között a legkönnyebb, s meggyújtva gyengén világító kék lánggal ég. Ez elégségnél, vagy más szavakkal a hidrogén és az oxigén vegyi egyesülése közben jelentékeny hőmennyiség keletkezik, még pedig négyszer annyi, mint az elégetett hidrogén tömegével egyenlő széntömeg elégetése alkalmával. Az égési termény ez esetben víz lesz, mely többé égni nem képes, mert benne a hidrogén már telítve van oxigénnel. A hidrogén vegyrokonsági ereje e szerint az elégségnél munkát végez, mely hő alakjában lép föl, ép úgy, mint az a szén és az oxigén egyesülésénél történik. Az elégés útján keletkezett vízben a vegyrokonsági erő a két elem között még mindig fennáll ugyan, de munkaképessége elveszett. Újra el kell tehát az elemeket választanunk, újra szét kell atómjaikat szakítanunk, hogy tőlök újabb hatásokat nyerjünk.

Megtehetjük ezt az elektrikus folyamok segítségével. A 22. ábrában két megsavanyított vízzel telt üvegedényt látunk a és a' , melyek középen egy likacsos és vízzel jól átáztatott agyaglemez által vannak elválasztva. Mindkét oldalról a k platinalhuzal az edények belsejébe nyúlik, végein az i és i' platinallemezeket hordván. Ha k platinalhuzalon át galvanikus áramot vezetünk a vízbe, rögtön azt látjuk, hogy az i és i' lemezekről gázbuborékok szállnak fel. E gázbuborékok a víz két alkotó eleméből állanak, t. i. az egyik oldalon hidrogénből, a másik oldalon oxigénből. E gázok g és g' csöveken át egymástól elkülönítve illannak el. Ha megvárjuk, míg a palaczkok felső részei és a csövek

e gázokkal megtelnek, úgy az egyik oldalon a hydrogént meggyújthatjuk; kékes lánggal fog az égni. Ha pedig a másik cső végéhez pislogó gyuszát közelítünk, úgy az lángra lobban, valamint az a tiszta oxygenben szokott tör-



22-ik ábra.

ténni, melyben az égési folyamatok egyáltalában élénkebben mennek véghez, mint a körlégben, hol az oxygen nitrogénnel vegyülve, annak térfogatilag csak ötödét képezi.

Tartsunk hideg vízzel telt üvegpalczkot a hydrogén lángja fölé, s látni fogjuk, hogy az égésnél keletkezett víz rácsapódik.

Ha a hydrogén alig világító lángjába egy platinahuzalt tartunk, úgy az élénken izzóvá fog válni; mi több, az itt keletkezett hydrogén és oxygen keverékének dúsabb áramában a különben oly nehezen olvasztható platina meg is olvadna. A hydrogén, melyet az elektrikus folyam a vízből kiválasztott, újra képességet nyert tehát arra, hogy oxygen-nel való egyesülése által nagy hőmennyiséget teremtsen; vegyrokonsága az oxygenhez újra munkaképes lett.

A munkaerőnek egy újabb forrásával ismerkedtünk itt meg, t. i. az elektrikus folyammal, mely a vizet elbontja. Maga e folyam galván elemek lánczolata által idéztetik elő, 23-ik ábra. A négy pohár mindegyike salétromsavat tar-

talmaz, melybe tömött szénből készült üres henger merül be. A szénhenger belső üregében hengeralakú likacsos agyagedény áll, mely higitott kénsavval van telve. Ez utóbbi folyadékba zínkhenger merül. Minden egyes zínkhenger az



23-ik ábra.

utánna következő pohár szénhengerével fémkapcsok által van összekötve, az utolsónak (*n*) kivételével, mely a víz-elbontó készülék (22. ábra) egyik platinalemézével áll összeköttetésben, míg a másik platinalemez az első pohár szénhengerével (*p*) van egybekapcsolva.

Ha most e galván-készülék vezetékét bezárjuk s a víz elbontása megkezdődik, úgy azzal egyidejűleg magában a galván-lánczatban is bizonyos vegyfolyamat fog véghez menni. A zink t. i. a környező vízből oxygént választ ki, s így lassan, de folytonosan égni fog. Az ekként keletkezett égési termény, a zínk-oxyd, utóbb a kénsavval egyesül melyhez nagy vegyrokonsággal bír, s így egy sönemű testet, a kénsavas zínket képezi, mely a folyadékban újra felolvad. A víz különben az oxygént, mely tőle elvonatik, azon salétromsavból pótolja, mely a szénhengereket körülveszi, s

mely gazdag oxigéntartalmának egy részét könnyen átengedi. A galván-lánczatban tehát a zink a salétromsavban foglalt oxigén rovására kénsavas zinkoxyddá ég el.

Mialatt tehát egy égési termény, a víz, újra elbontatik, az alatt egy új elégés, a zink elégése megy véghez. Mig ott a vegyrokonság erőinek hatásképségét helyreállítjuk, addig itt megsemmisül az. Az elektrikus folyam nem szolgál egyébre, mint hogy az oxigénnel és a savval egyesülő zink vegyi munkaerejét a vízre vigye át, melyben az a hydrogen és az oxigén vegyrokonsági erejének legyőzésére fordíttatik.

E szerint az elveszett munkaerőt ez esetben is helyreállíthatjuk, de csak az által, hogy egy más munkaerőt, az oxigénnel egyesülő zink munkaerejét használjuk fel.

Az elektrikus folyam közvetítésével vegyi erőket vegyi erők által győztünk le. Ez eredményt azonban akkor is elérhetjük, ha az elektrikus folyamot egy magneto-elektrikus gép által (24. ábra) indítjuk meg. Ha a forgatyt mozgatjuk, úgy a nagy patkóalakú mágnesnek befont rézdróttal körültekert horgonya forgásba jő, s a közben a dróttekeresekben elektrikus folyamok keletkeznek, melyeket *a* és *b* pontokból el lehet vezetni. Kössük össze e drótvezetékek végeit a vízbontó készülékkel, úgy ily módon is nyerhetünk oxigént és hydrogént, bár sokkal csekélyebb mennyiségben, mint az előbb használt galván-lánczat segélyével. E jelenség azonban különösen azért érdekes reánk nézve, mert annak folyamában karunk mechanikai ereje végzi a munkát, mely az összekötött vegyi elemek elválasztására szükségeseltetik. Valamint a gőzgép a vegyi munkaerőt mechanikaivá, ép úgy a magneto-elektrikus gép a mechanikait vegyivé változtatja át.

Az elektrikus folyamok alkalmazása egyáltalában tág körét nyitja meg a különböző természetű erők közötti vonatkozásoknak. Ily folyamok által a vizet elemeire bontottuk, s ezt tehetnők a többi vegyületek nagy részével is. Más

oldalról a galván elemekben vegyi erők által elektrikus folyamatokat hoztunk létre.



24-ik ábra.

A vezető közegek, melyeken e folyamatok áthaladnak, mindig felhevülnek. Vékony platinahuzalt feszíték ki a galván lánczolat (23-ik ábra) *n* és *p* végei között, s az nem sokára

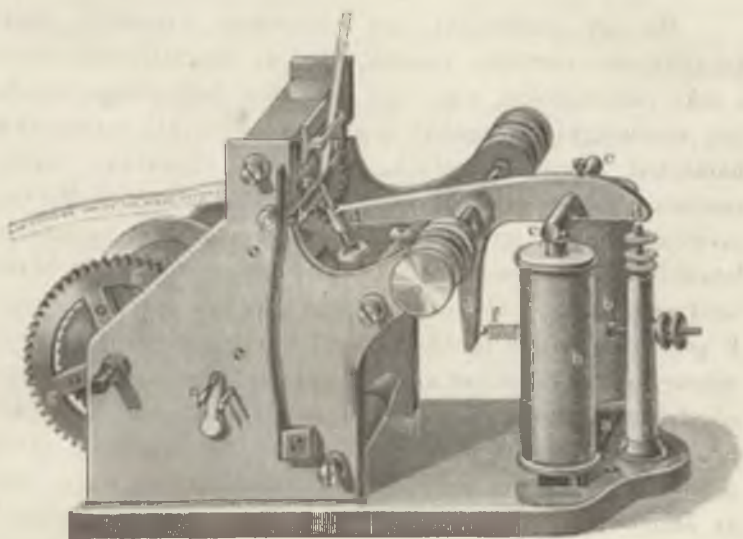
izzóvá válik s végre megolvad. Más oldalról az úgynevezett thermo-elektrikus lánczokban hő által elektrikus folyamatok keletkeznek.

Ha egy vasdarabot egy elektrikus folyamtól átjárt huzaltekeres közelébe visztünk, úgy az magnetikussá válik, s más vasdarabokat, vagy egy alkalmas helyzetben közeli-tett aczélmágnest magához vonz. Ily módon oly mechanikai hatásokat nyerünk, melyek, például az elektrikus távirá-szatban, gyakori alkalmazásra találnak. A 25. ábra Morse táviróját mutatja természetes nagyságának egy harmadára leszállítva. Az egésznek tevékeny része azon patkóalakú vasdarab, mely a *bb* rézhuzal tekercsekben van elhelyezve. E patkónak felfelé fordított végei felett a kicsiny *cc* aczélmágnes fekszik, melyet azok magukhoz vonzanak, mihelyest az elektrikus folyam a távirda vezetéken át a *bb* tekercsekbe jut. A *ccc* mágnes a *dd* emeltyűhöz van erősítve; annak másik végén pedig az író tű van alkalmazva, mely *r*-nél az óramű által tovább tolt papírszalagra ír, valahányszor s a meddig a *cc* rúd az elektrikus folyam magnetikus hatása által lefelé húzatik. Viszont, ha a *bb* tekercsek vasmagvának magnetismusát megváltoztatnók, elektrikus folyamot nyer-nénk, ép úgy, mint a magneto-elektrikus gépnél (24. ábr.) nyerttünk; a tekercsek magvát ott is vasdarab képezi, mely a nagy patkóalakú mágnes sarkaihoz közeledvén, majd az egyik majd a másik értelemben válik magnetikussá.

E viszonylatokra a példák számát nem akarom mérté-ken túl szaporítani, a következő előadásokban is fogunk több ilyennel találkozni. De pillantsuk még egyszer át a példák sorozatát, hogy bennök a mindannyira nézve közös törvényt felismerhessük.

A felemelt súly munkát végezhet, de ha azt teszi, úgy a magasból alá kell esnie, s midőn annyira esett, a meny-nyire eshetik, súlya ugyan változatlan marad, de több mun-kát végezni nem bír.

A megfeszített rugó munkát végezhet, de ellankad mihelyest azt megtette.



25-ik ábra.

Valamely mozgatott tömeg sebessége munkát végezhet, de a közben nyugvásba megy át. A hő munkát végezhet, de megsemmisül, midőn azt teszi.

A vegyi erők munkát végezhetnek, de munka közben kimerülnek.

Az elektrikus folyamatok munkát végezhetnek, de fenntartásukra vegyi, vagy mechanikai erőket, vagy hőt kell fordítanunk.

Egész általánosságban mondhatjuk tehát: Az összes ismert természeti erők közös jelleme az, miszerint munkaképességük kimerül azon arányban, a mint tetteleg munkát végeznek.

Már előbb láttuk azonban, hogy midőn a súly egyéb munka végzése nélkül leesett, vagy sebességet nyert, vagy

hőt teremtett. A magneto-elektrikus gépet ugyancsak súlyok által hajthatnók, s nekünk akkor is elektrikus folyamokat szolgáltatna.

Láttuk azt is, hogy a vegyi erők működésök által hőt vagy elektrikus folyamokat, de néha mechanikai munkát is teremtenek.

Láttuk végre azt is, hogy a hőt munkává lehet alakítani; sőt, hogy általa bizonyos eszközökben (thermo-elektrikus lánczokban) elektrikus folyamokat is hozhatunk létre. A hő vegyi egyesülések közvetlen elbontására is szolgálhat; így például, midőn meszet égetünk, s a szénsav a mésztől elválik.

Valahányszor tehát valamely természeti erő hatásképesége megsemmisítettik, helyette mindannyiszor egy másik lép tevékenységbe. Sőt a szervetlen természeti erők körén belül képesek vagyunk bármelyiköket bármely más hatás-képes természeti erő közvetítésével hatásra képesíteni. A physika által újabb időben felfedezett kapcsolatok a különböző természeti erők között ma már oly rendkívül számosak, hogy e feladatok bármelyikét képesek vagyunk több különböző úton megoldani.

Láttuk már, miként szokás a mechanikai munkát mérni, s mi módon sikerült a hő mechanikai egyenértékét meghatározni. A vegyi folyamatok munka-egyenértéke pedig azon hőmennyiség által méretik, melyet létrehoznak. A többi természeti erők munka-egyenértéke hasonló módon fejezhető ki a mechanikai munka mértékében.

Midőn tehát bizonyos mechanikai munka-mennyiség elvész, akkor az arra irányzott vizsgálódások egybevágó tanúsága szerint, vele egyenértékű hőmennyiség vagy vegyi munkaerő keletkezik; és viszont, midőn hővész el, akkor vele egyenértékű vegyi vagy mechanikai munkaerőt nyerünk, s midőn vegyi munkaerővész el, akkor hőt és munkát nyerünk, úgy hogy mindezen szervetlen természeti erőcsere-hatásai közben a munkaerő egyik alakjában eltűnhetik

ugyan, de más alakban egyenértékű mennyiségben újra fellép, s így végre is se nem gyarapszik, se nem csökken, hanem örökké változatlan mennyiségben megmarad.

Meg fogunk győződni később arról, hogy e törvény, a mennyire az e kutatások eredményeiből eddig kitűnt, a szerves természet jelenségeire nézve is érvényes.

Az következik ebből, hogy az összes természet hatásképes erőmennyiségének összege, a természetben véghez menő változások daczára, örökké változatlan marad. A természet minden változása abban áll, hogy a munkaerő alakot és helyet cserél a nélkül, hogy mennyiségében megváltoznék. A világegyetem munkaerejében egyszer mindenkorra bizonyos kincsesel rendelkezik, mely a jelenségek változata közben nem gyarapodhatik, de nem is csökkenhet, s mely az összes változásokat létrehozza.

Azon okoskodások tehát, melyekkel ez előadás kezdetén csupán a technikai munka gyakorlati érdekeinek szempontjából foglalkoztunk, egy általános természeti törvényre vezettek, mely, a mennyire ma tapasztalataink terjednek, az összes természeti jelenségeket felkarolja, rajtok uralkodik, s az emberi haszon gyakorlati szempontjain felül emelkedve, az összes természeti erőknél egy jellemző tulajdonságát mondja ki, s mely általános érvényességét tekintve, a tömeg változatlanságának és a vegyi elemek változatlanságának törvényeivel versényez.

Végleges határozatot mond e törvény azon nagy gyakorlati kérdésben is, mely a lefolyt két század tudósait annyira foglalkoztatta, s mely annyi hiábavaló kísérletre szolgáltatott alkalmat, t. i. a perpetuum mobile lehetőségének kérdésében. Oly gépet értettek ez elnevezés alatt, mely külső hajtó erők felhasználása nélkül folytonosan mozogna és a mellett munkát is végezne. E kérdés megoldása mérhetetlen hasznót ígért. Az ily gép a gőzgépek minden előnyével birna, a nélkül, hogy tüzelő anyagot fogyasztana.

A munka pénz. Az oly gép tehát, mely munkát semmiből teremtene, annyit érne, mintha aranyat gyártana. Ezért foglalta el e kérdés hosszabb időn át az aranygyártás kérdésének helyét, és zavart meg nem egy okoskodó főt. Hogy az ismert mechanikai erők felhasználásával a perpetuum mobile nem lehetséges, azt az időközben kifejlődött mennyiségtani mechanika alapján már a múlt században ki lehetett mondani. De hogy kitűnjék, miszerint az akkor is lehetetlen, ha a mechanikai erők mellett még hő, elektricitás, magnetismus s vegyi erők működnek, arra az imént kimondott törvényt egész általánosságában kellett ismerni. A perpetuum mobile lehetőségét véglegesen csak az erő megmaradásának törvénye czáfolta meg, úgy hogy e törvényt gyakorlati alakban akként is kimondhatnók, miszerint munkát fogyasztás nélkül, semmiből nem teremthetünk.

E törvény jelentőségét s horderejét csak az fogja megítélhetni, ki annak alkalmazásaival az egyes természeti folyamatokra megismerkedett.

Már a kevés is, mit ma a rendelkezésünkre álló hajtó erők keletkezéséről elmondottam, laboratoriumaink és gyáraink korlátaín túl azon nagyszerű folyamatokra utal, melyek földünknek és a világegyetennek életében nyilvánulnak. Az erő, melylyel vizeink a hegyekből kiáramlanak, csakhamar elveszne, ha az eső és a hó új vizet nem hordana. Szükséges erre, hogy a légkörben vízgőz legyen, mely csak hő által jöhet létre, s e hőt a napból nyerjük. A gőzgép tüzelő anyagokat használ fel, melyeket részben a növényzet jelen élete, részben hajdani élete szolgáltat, azon hatalmas széntelepek által, melyeket tevékenységének folyamában a föld gyomrában lerakott. Később látni fogjuk azt is, mily benső összeköttetésben áll a napfény a növényi élettel. Az ember és állatok munkaerejét csak a táplálkozás tarthatja fenn; minden tápanyag végelemzésben a növényországból ered, s így ugyanazon forrásból keletkezik.

Midőn tehát azon hajtó erők forrásait keressük, melyeket szolgálatunkra fordítunk, akkor a föld légkörének meteorológiai folyamataira, a növényi életre, a napra leszünk utalva.

Ez utat fogjuk a következő előadásokban követni.*

* Ezen következő előadások kidolgozását és közzétételét egyelőre elhalasztottam s pedig azért, mivel a körükbe eső tárgyak némelyike, mint a meteoritok eloszlása és mozgása, az üstökösök alkata, az állatok táplálkozása és munkaképessége s i. t. ez időben még függőben levő kérdések, melyeknek szigorú eldöntése eddigelé nem sikerült. Egyébiránt az odatartozó okoskodások magvát már az ezt megelőző előadásban körvonaloztam.

M Ű S Z Ó T Á R.

Állandó gázok, *Permanente Gase.*

Alúlcsapó vízikérlek, *Unterschläch-
tiges Wasserrad.* Felülcsapó ví-
zikerék, *Oberschlächtiges Was-
serrad.*

Elektrikus, *Electrisch.*

Erőfogyasztás, *Kraftaufwand.*

Feltevés, *Hypothese.*

Galvánelem, *Galvanisches Element.*

Galvánlánczolat, *Galvanische
Kette.*

Hatásképeség, *Leistungsfähigkeit.*

Kötött meleg, *Gebundene Wärme.*

Lappangó hő, *Latente Wärme.*

Magnetikus, *Magnetisch.*

Nehézség, *Schwere.*

Salétromsav, *Salpetersäure.*

Toló szelep, *Schieberventil.*

A TERMÉSZETTUDOMÁNYOK CZÉLJÁRÓL ÉS HALADÁSAIRÓL.

MEGNYITÓ BESZÉD

a német természetvizsgálók innsbrucki gyű-
lésén 1869-ben.

Mélyen tisztelt gyűlekezet!

Midőn a reám nézve megtisztelő felszólításnak engedve e szószékre lépek, hogy a természetvizsgálók ez idei nagy gyűlésének első nyilvános ülésén az első tudományos előadást tartsam: a pillanat jelentőségéhez és e gyűlekezet tekintélyéhez méltónak tartom, ha figyelmeiket saját tanulmányaim egy vagy más tárgya helyett, inkább azon tudományok egész körének fejlődésére iparkodom irányítani, melyek itt képviselve vannak. E tudománykör, mint részletes tanulmányok roppant tere, alig áttekinthető anyagot foglal magába, mely mind terjedelmére, mind beltartalmának

gadagságára nézve évről évre gyarapodik, s melynek növekedésére eddig határ kijelölve nincs. E század első felében még volt egy Humboldtunk, ki az akkori természettudományi ismereteket minden részleteiben áttekinteni s azokat egy összefüggő egészbe foglalni tudta. A tudomány mai állása szerint azonban egyáltalában kétes, vajjon e feladatot még egy arra oly nagy fokban alkalmas szellem is, minő Humboldté volt, képes volna-e ugyanazon módon megoldani, bár ha minden idejét és munkáját ez egy célra fordítaná is,

Mi, kik a tudomány egyes ágainak további kiművelésén dolgozunk, időnknek csak kis részét fordíthatjuk más ágak tanulmányozására. Minden egyes vizsgálódás alkalmával kénytelenek vagyunk erőnket szűkkörű térre összpontosítani. Nekünk nem csak könyveket kell szerezni és átnézni, s jegyzeteket gyűjteni arról, mit mások a tárgyra vonatkozólag találtak, mint azt a nyelvész és történész teszi; mindez ellenkezőleg munkánkunknak csak alárendelt részét képezi. Nekünk magukat a tárgyakat kell megragadni, s mindenikök új és egészen másnemű nehézségekre vezet mint a melyekkel a könyvbuvár küzködik. A legtöbb időt és munkát többnyire mellékes dolgok veszik igénybe, melyek a vizsgálódás tulajdonképeni céljával csak távolról állanak összeköttetésben.

Sokszor minden fáradozásunkat arra kell fordítanunk, hogy az eszközök hibáit tanulmányozzuk s kijavítsuk, vagy ha az nem lehetséges, zavaró befolyásukat kikerüljük. Máskor az időt és alkalmat kell meglesnünk, hogy valamely szervezetet éppen azon állapotban lehessen megfigyelhünk, melyben azt vizsgálunk kell. Máskor ismét csak már a vizsgálódásnak folyamában fedezzük fel azon hibákat, melyek az eredményt hamissá vagy legalább kétesse tehetik, s ilyenkor kénytelenek vagyunk a munkát mindaddig újra kezdeni, míg a gyanú legesekélyebb nyomát is eltávolítottuk. Csak ha az észlelő tárgyába, hogy úgy mondjam,

egészen belecsimpajkozik, s ha minden gondolatát s minden érdekeltségét reá fordítja, annyira, hogy attól heteken, hónapokon, sőt egész éveken át sem tud megválni, s nem is válik addig meg, míg azt minden részleteivel együtt nem ismeri, s míg mindazon eredmények helyességéről meg nem győződött, melyekhez az idő szerint jutni lehetett: csak akkor fog munkája kétségbevonhatatlan és maradandó becsesl birni. Önök is mindannyian tudják, mily aránytalanul több időt kell fordítani az előkészületekre, a mellékes munkálatokra, a lehetséges hibák ellenőrzésére s különösen az elérhető eredmények elkülönítésére azon eredményektől, melyek az idő szerint el nem érhetők, mint a mennyi idő végre arra szükséges, hogy a tulajdonképeni végleges észleletek vagy kísérletek eszközöltessenek; mily aránytalanul több elmeelt és fejtörést vesz néha egy sárgaréz vagy üvegdarab kidolgozása igénybe, mint az egész kutatás tervének megállapítása. Önök mindannyian ismerik ama türelmetlen felhevülést munkaközben, midőn minden eszménk oly mellékes kérdések körében összpontosul, melyeket a rajtuk kívül álló kiesinyeseknek és megvetendőknak tart, mert nem ismeri a célt, melynek kapuját csak e munka nyithatja meg. Úgy hiszem, az ilyen munka s az ilyen szellemi hangulat vezetett mindazon nagy eredményekre, melyeket tudományunk fejlődése, oly hosszú várakozás után, oly gyorsan érlelt meg, s melyek tudományunknak az emberi élet minden mozzanataira elvitázhatatlan befolyást biztosítottak.

Mig tudományos munkálkodásunk tart, addig alig jut idő terjedelmes áttekintésekre. Igaz, hogy mihelyest a nehézségeket szerencsésen legyőztük s az eredményeket biztosítottuk, a dolog természeténél fogva megpihentünk, s ilyenkor érdekünk mindenek előtt arra irányul, hogy a megállapított tények horderejét áttekintsük s újra egy beható pillantást vessünk a tudás szomszédos területeire. Szükség van erre is, s csak az, ki az ilyen bepillantásokra képes, csak az re-

mélheti, hogy újabb munkálatokra alkalmas kiinduló pontokat fog találni.

Így az első munkát egyebek követik, melyek más tárgyakkal foglalkoznak. De még saját dolgozatainak sorában sem szabad a buvárnak egy többé-kevésbbé élesen határolt iránytól eltérni. Nemcsak arról van itt szó, hogy munkálatának tárgya felett könyvekből gyűjtsön ismereteket. Az ember emlékező tehetsége aránylag ugyan elég türelmes, s csaknem hihetetlennek látszó ismerethalmaz egybegyűjtésére képesít. Azonban a természettudósnak ama tudás kellett, melyet előadásokból és könyvekből merithet, még oly ismeretekre is van szüksége, melyek csak gondos érzéki megfigyelés eredményei lehetnek; szüksége van oly ügyességre, melyet csak ismételt kísérletek és hosszabb gyakorlat folytán nyerhet. Kell, hogy érzékei az észlelés bizonyos módjaira nézve különösen fogékonyakká váljanak; fel kell ismernie a legesekélyebb különbségeket a vizsgált tárgyak alakjában, színezetében, szilárdságában, szagában s i. t.; kezének gyakorolva kell lenni, hogy majd a kovács, lakatos vagy asztalos, majd a festő vagy hegedűs munkáját végezhesse, majd ismét a mikroszkop alatt bonezolva, a csipkekötőt ügyességben felülmúlja. Máskor ismét a katona bátorságával és hideg vérével kell bírnia, midőn hatalmas romboló erővel áll szemben, vagy midőn embereken és állatokon véres műtéteket visz véghez. Mindezen, részben már a születéssel nyert, de részben csak hosszas gyakorlat által megszerzett és kiművelt képességek nem oly könnyen s nem oly nagy mennyiségben szerezhetők meg, mint az akkor volna lehetséges, ha csupán az emlékező tehetség kínesei forognának szóban; s épen ezért kell az egyes buvárnak, vizsgálódási terét egész életének munkálatai sorában a kellő határok közé szorítani, s mindig csak azon körben mozogni, mely képességeinek leginkább megfelel.

Nem hagyhatjuk azonban említés nélkül azt, hogy mennél inkább kényszerül az egyes buvár vizsgálódásai

körének megszorítására, annál inkább érzi szellemi szükségét annak, hogy az egészszel való összefüggést szem elől ne tévessze. Honnét meritse fáradságos munkájához az erőt és kedvet, honnét a bizalmat, hogy az, a miért fárad, maradandó értékkel bírván, nem fog használatlanul elavulni: hanem serkenti a meggyőződés, hogy ő is hordott egy követ a tudományok nagy erősségéhez, mely az emberiség erkölcsi céljainak uralmát a természet öntudatlan erői felett biztosítja?

Igaz, hogy közvetlen gyakorlati haszonra az egyes vizsgálódások kezdetén csak ritkán számíthatunk. Bár a természettudományok az emberi nem életét, credményeik gyakorlati értékesítése által, újabb időben egészen megváltoztatták; de azért ez alkalmazások mégis csak olyankor szoktak előtűnni, midőn azt legkevésbbé várjuk; közvetlen hajhászásuk rendesen nem vezet célhoz, ha csak már egészen biztos kiinduló pontokra nem támaszkodik, úgy, hogy kivitelükre csupán még egyes akadályok mellőzése legyen szükséges. Ha a legfontosabb felfedezések történetét áttekintjük, azt látjuk, hogy azok, vagy — mint különösen régibb időkben — kézművesek és munkások által tétettek, kik egész életükön át csak egyféle munkával foglalkozván, majd a véletlen által, majd százszorosán ismételt tapogatózó kísérletek által végre mesterségük tökéletesbitéséhez jutottak, vagy mi különösen az újabb kor felfedezéseire nézve áll, — az illető tárgy tudományos ismeretének gyümölcsei, mely ismeret egyelőre tekintet nélkül a haszonra, rendesen csupán az összes ismeretek tudományos kiegészítésének érdekében nyeretett.

Épen a természetvizsgálók gyűlése az, mely tudományaink összességét képviseli. Itt látjuk ma a matematikust, physikust, vegyészt együtt a zoologgal, botanikussal és geologgal, itt a tanárt, az orvost, a mérnök és a műkedvelő társaságában, ki másnemű munkálkodása után, a természet-tudományokban csak üdülést keres. Itt keresi mindenki a

serkentést és bátoritást szakmunkálatainak folytatására; itt reményli azon elismerést találhatni, melylyel, ha kis községnek lakosa, máskor alig találkozik, hogy t. i. művei az egész mű kiépítéséhez szintén hozzájárultak; itt reményli közelebb vagy távolabb álló szakférfiakkal beszélgetve, azon czélt megállapíthatni, mely felé vizsgálódását azontúl irányoznia kell. Körünkben, nagy örömeinkre, a nemzet minden művelt osztálya szép számmal van képviselve, s köztünk befolyásos államférfiak is ülnek. Mind részt vesznek ők munkálatainkban, s tőlünk a művelődés további fejlesztését és újabb győzelmeit várják a természeti erők felett. Ők munkálatainkat a külső segédeszközök nyújtása által támogatják, s ezért jogosulva vannak arra, hogy e munkálatok eredményei felől kérdezősködjének. Különösen kívánatos tehát e helyen, hogy legalább nagyjában számot adjunk a természettudományok főbb haladásairól, s azon czélokról, melyek felé azok haladnak, s azon lépések nagyságáról, melyekkel e czélokat megközelítették.

Az ilyen leszámolás valóban kívánatos; de hogy az egyes alig lesz képes e feladatot bár csak némi tökélylyel is megoldani, az már az előadottak alapján világos. Hogy e nehéz feladattal megbizva, épen én állok e helyen, annak igazolásául leginkább az szolgálhat, hogy senki más nem akarta azt elvállalni; s én úgy gondoltam, hogy egy félig meghiúsult kísérlet, még mindig jobb a semminél. Azonkívül épen a physiognak jutott legtöbb alkalom arra, hogy az egész tudománykörnek fejlődését szemmel tartsa. A dolgok mai állásában ugyanis a physiologia különösen van utalva arra, hogy a természettudományok egyéb ágainak segítségére támaszkodván, velők lehetőleg szoros összeköttetésben maradjon. Ehhez járul még az is, hogy épen a physiologia körében tűnt ki leginkább azon nagy haladások fontossága, melyekről itt szólni szándékozom, s hogy magának a physiologianak elvi kérdései indítottak épen e haladások főbbjeinek megtételére.

Ha előadásom hiányos lesz, úgy igazolásomra a feladat nehézsége mellett még azon körülmény is szolgáljon, hogy e gyülekezet tisztelt ügyvezetőinek felszólítása csak nagyon későn, s a hegyek között töltött szünnapok alatt jutott kezeimhez. Előadásom hiányait egyébiránt a szakosztályok értekezletei bizonyára bőven fogják pótolni.

Lássunk tehát feladatunkhoz! Az első kérdés, mely elénk áll, ha az összes természettudomány haladásáról akarunk szólni, az lesz: Mily mértékkel kell e haladást mérnünk?

A be nem avatott e tudományt az egyes ismeretek megmérhetetlen összebonyolódott halmazának tartja, melyből egyes tények gyakorlati hasznosságuk, mások, mint a bámulat tárgyai, különösségük által válnak ki. De a tudást ez össze nem függő egyes tények alakjában még akkor sem mondhatnók tudománynak, s az még akkor sem tenne eleget az emberi szellem tudományos törekvéseinek, vagy az ember uralkodási vágyának a természeti hatalmak felett, ha az Linné rendszerének, vagy a természettudományi encyclopaediának módjára volna rendszeresítve, úgy, hogy az egyes tények könnyű felkeresése nehézségekkel többé nem járna. Mert az emberi szellem törekvése az ismeretek értelmileg felfogható összefüggésére irányul, az ember uralkodási vágya pedig az eredmény ismeretét igényli még elő nem fordult esetekben is és oly körülmények között is, melyeket csak a jövőben szándékozunk öntevékenységünk által létrehozni. Mindez csak a jelenségek törvényeinek ismerete által érhető el.

Az egyes észlelt tények és kísérletek magukban véve még értéktelenek, ha számuk még oly nagy lenne is. Elméleti és gyakorlati értéket csak az által nyernek, hogy az egyneműen visszatérő jelenségek törvényét tüntetik elő, vagy legalább azt mutatják, hogy egy ilyen törvénynak addig tökéletesnek tartott ismerete tökéletlen volt. A természeti jelenségek szigorú és általános törvényszerűsége

folytán, sok esetben már egyetlen egy észlelet elégséges arra, hogy ez esetet szigorúan törvényszerűnek feltételezve, belőle nagy valószínűséggel szabályt merítsünk; ezt teszszük például akkor, midőn egy őskori állat csontvázát teljesen ismertnek tekintjük, mihelyest annak egyetlen egy teljes példányát találtuk. De nem szabad felednünk, hogy ez egyes észlelet itt is nem magaért bir értékkel, hanem azért, mivel a szerves lények egy egész fájának testalkatában mutatkozó törvényszerűségnek ismeretére vezet. Ezért fontos az is, hogy egy új fém bármily kicsiny darabkájának fajhevet megismerjük, mert nem kételkedhetünk azon, hogy ugyanazon fém minden más darabja ugyanazon tulajdonságokkal fog birni.

Ha a jelenségek törvényét megtaláltuk, úgy felfogtuk azokat. S valóban a törvény nem egyéb, mint azon általános fogalom, mely alá az egynemű természeti jelenségek bizonyos sorozatát összefoglaljuk. Valamint az emlős-állat fogalma mindazon tulajdonságokat összefoglalja, melyek az emberre, majomra, kutyára, oroszlánra, nyúlra, lóra és czethalra nézve közösek, ép úgy a fény törésének törvényében összefoglaljuk mindazt, a mit rendszeren ismétlődni látunk, valahányszor egy bármely színű fénysugár bármily két közeg határfelületén bármely irányban áthatol.

De a természeti törvény nem csupán logikai fogalom, melyet a tényeknek biztosabb emlékezetben tartása végett, mintegy mnemotechnikai segédeszközzül állapítunk meg. Mi, a jelenkor fiai, már eljutottunk annak belátásához, hogy a természeti törvényeket speculatio útján kiokoskodni nem lehet. Magában a tények körében kell azokat felfedeznünk; folytonosan ismételt észleletek és kísérletek által s folytonosan változtatott körülmények között kell azokat próbára tennünk, s bizalmunk érvényességükben csak is akkor fog erősödni, ha helyességüket mindig több és több esetben s változatosnál változatosabb körülmények között, még folytonosan tökéletesbedő észlelő módszerek használata mellett is, bebizonyítva találjuk.

A természeti törvények tehát idegen hatalom módjára állnak elénk, azokat önkényesen változtatnunk és meghatározniuk nem lehet, a mint például az állatok és növényekre nézve egy rendszert a másik után lehetett felállítani mindaddig, míg a tudomány törekvése csupán a mnemotechnikai ezél elérésére irányult, hogy neveiket könnyen emlékezetben tarthatókká tegye. Ha egy természeti törvényt teljesen ismerni vélünk, úgy azt kivétel nélkül érvényesnek kell tartanunk; ez általános érvényesség épen az, mi helyességének ismertető jelét képezi. Mihelyest meggyőződünk arról, hogy a körülmények előállottak, melyek között a törvény érvényre lép, az eredménynek is azonnal be kell következni, s pedig minden kényszer, választás és közreműködésünk nélkül, oly szükségességgel, melynek a külvilág tárgyai ép úgy alá vannak rendelve, mint a mi észrevevő-sünk. A törvény tehát, mint objectiv hatalom áll velünk szemben, s azért erőnek nevezzük azt.

A fény törésének törvényét például az által teszszük tárgyasíkokká, hogy az átlátszó közegek fénytörő erejéről, a vegyi rokonságok törvényét pedig az által, hogy vegyrokonsági erőről szólunk. Ily értelemben van jogosultsága az olyan kifejezéseknek, minők: a fémek érintkezésének elektrikus ereje, a tapadó erő, a capillaris erő, s i. t. Ez elnevezésekben törvények vannak tárgyasítva, melyek egyelőre csak szűkkörű és bonyolódott természeti jelenségekre vonatkoznak. Így kellett a természettudományok körében a fogalmak felállítását megkezdeni, míg az egyes részletes törvények ismeretéből kiindulva, általánosabb törvények felé lehetett haladni. A főfeladat az volt itt, hogy az egymásra ható tömegek alakjának és térbeli elterjedésének véletlen különfélesei mellőztessenek, s erre szükséges volt, hogy a nagy, látható tömegeken észlelt jelenségekből az elenyésző kicsiny tömegrészecekké hatásai ismertessenek fel, vagy tárgyasian szólva, szükséges volt, hogy az összetett tömegek erői a legkisebb elemi részecekké erőire bontassanak. De

épen az erő kifejezésének e legtisztább alakjában, t. i. azon mechanikai erő kifejezésében, mely egy tömegpontra hat, tűnik ki legvilágosabban, hogy az erő nem egyéb, mint a hatásnak tárgyasított törvénye. Az ilyen meg ilyen testek jelenléte által adott erőt egyenlővé teszszük azon test sebesedésének és tömegének szorzatával, melyre az erő hat. Az ily egyenlet valódi értelme nem egyéb, mint hogy a következő törvényt mondja ki: Ha ilyen meg ilyen tömegek vannak jelen, s rájuk más tömegek nem hatnak, úgy egyes pontjaik ilyen meg ilyen sebesedéseket nyernek. Az egyenlet e tényleges értelmezését a tényekkel összehasonlíthatván, helyességét általuk ellenőrizhetjük. Az erő elvont fogalma, melyet itt közbeszúrunk, csak annyiban egészíti ki e törvény értelmét, a mennyiben kifejezi, hogy az nem önkényünk szüleménye, hanem magának a jelenségek kényszerének következménye.

A feladat, melyet magunknak állítottunk, hogy t. i. a természeti jelenségeket felfogjuk, azaz törvényeiket megállapítsuk, az előadottak szerint arra vezet, hogy az erőket keressük, melyek a jelenségek okait képezik. A természet törvényszerűségét okszerű összefüggésnek kell tartanunk, mihelyest a természetet gondolkodásunktól és akaratusunktól függetlennek ismerjük el.

Látjuk ebből, hogy a természettudománynak, mint egy egésznek haladását azon mérték szerint kell megbecsülnünk, a mely mértékben az összes természeti jelenségek közti összefüggésnek felismerése és érvényesítése előhaladt.

A tudományok történetére visszatekintve, az első nagy példát arra, hogy a tények változatos sokasága egy, mindannyira kiterjedő általános törvény alá rendeltetett, az elméleti mechanikában találjuk, melynek alapelveit legelőször Galilei fejtette ki világosan. Azon általános tételek megállapítása forgott akkor szóban, melyek ma maguktól világosaknak látszanak, hogy t. i. minden tömeg magában véve tehetetlen, s hogy az erő nagyságát nem a sebesség, ha-

nem annak változása által kell mérni. Egyelőre meg kellett elégedni azzal, hogy a folytonosan ható erő egyes kicsiny lökések sorozatának tekintessék. Csak miután Leibnitz és Newton a differentiaal számítás felfedezése által fellebentették ama fátyolt, melybe addig a végtelen fogalma burkolva volt, s a folytonos és a folytonosan változó mennyiségeknek fogalmát tisztán előállították, csak akkor volt lehetséges az újonnan talált mechanikai fogalmak termékeny alkalmazását megkezdeni. A legfényesebb példa ez alkalmazások jelentőségére kétségtől a bolygók mozgásának értelmezése volt; ez által vált a csillagászat azon fényes előképpé, mely a többi természeti tudományok fejlődési menetét kijelölte. A csillagászatban sikerült először, a gravitatio elmélete által, a tények roppant számú s összebonnyolódott halmazát egy rendkívül egyszerű elvbe összefoglalni, s az elméletet a tényekkel oly tökéletes megegyezésbe hozni, mint az más téreken sem előbb, sem utóbb nem történt. A csillagászat fejlődése e mellett még az újabb mennyiségtan haladásainak nagy részét, s csaknem az összes pontosabb mérési módszerek megállapítását vonta maga után; e tudomány volt legalkalmasabb arra is, hogy a nem szakértő figyelmét magára vonja, mert tárgyának magasztossága mellett érdekeltségét még azon gyakorlati haszon is növelte, melylyel a hajózást, a földmérést, s a tőlök függő iparágakat, társadalmi érdekeket előmozdította.

Galilei tanulmányait a földi nehézséggel kezdte; Newton előbb óvatosan a holdra, aztán merészebben a bolygókra terjesztette ki azokat. Az újabb kor arra tanított, hogy a tétlenség törvénye és a gravitáció törvénye, melyek minden lemérhető tömegre nézve fennállanak, még azon legtávolabb kettőscsillagok mozgásaiban is érvényesülnek, melyek fénytükét szemtünkhez boesátják.

A csillagászat haladását a múlt század második, s a jelen század első felében, a vegytan nagyszerű fejlődése követte, mely végre tényleg megoldotta a metaphysikai

speculatio ama régi feladatát, a testeket elemeikre bontani; s a mint a való rendesen még a legmerészebb, s képzeletekben legdúsabb speculációnál is mindig gazdagabbnak mutatkozik, úgy a metaphysika négy régi eleme, a tűz, víz, lég és föld helyébe az újabb vegytannak 65 eleme lépett. A tudomány kimutatta azt, hogy ez elemek tetteleg meg nem semmisíthetők, változatlanok tömegükre nézve, s változatlanok tulajdonságaikra nézve is, a mennyiben azon vegyületekből, melyekbe átalakultak, mindig újra kiválaszthatók, s ilyenkor mindazon tulajdonságaikat visszanyerik, melyekkel előbb elkülönzött állapotukban bírtak. Az élő és holt természetben észleletünk alá eső jelenségeknek tarka változossága, s a vegyi bomlások és egyesülések meglepő eredményei, mind egy és ugyanazon törvényről tanuskodnak, mely az anyag változhatatlanságát kivételt nem ismerő szigorral mondja ki. Pedig a vegyészek fáradhatlan szorgalma az ismert vegyi folyamatok számát évről évre növeli, s a szinképelemzés már is a mérhetetlen világűr mélységeibe hatolt, s a legtávolabb napok és ködfoltokban ismert földi elemek nyomaira talált; úgy, hogy nem kétkedhetünk többé az anyagok általános egyneműségén a világegyetemben, bár egyes elemek az égi testek egyes csoportjaira szorítkozhatnak.

Az elemek ez állandóságához még egy más következtetés is csatlakozik. A vegytan tényleges buvárlataiból kitűnt, hogy minden anyag a vegytan által felfedezett elemekből van összetéve. Az elemek egymás közti egyesüléseiket és vegyületeiket, halmazállapotukat és molekuláris szerkezetüket sokféleképen változtathatják, s így más szavakkal térszerinti elterjedésük módját változtathatják. Ellenben tulajdonságaikat illetőleg teljesen változatlanok; valahányszor t. i. ugyanazon egyesülésbe, vagy az elkülönzés állapotába lépnek, s ugyanazon halmazállapotba vezettetnek vissza, mindannyiszor ugyanazon tulajdonságokat mutatják. Ha azonban az elemek tulajdonságai-

kat illetőleg változhatatlanok, s csak annyiban változékonyak, a mennyiben vegyületeik neme, halmaz-állapotuk és molekuláris szerkezetük, tehát egy szóval térben elterjedésük módja változik, úgy minden változás a világegyetemben csak az elemek térben elterjedésének változása lehet, s így végső elemzésben mozgás által jöhet létre.

De ha a mozgás a világegyetem minden változásainak alapokát képezi, úgy e szerint minden erőnek végső elemzésben, mozgató erőnek kell lenni, s az összes természettudományok végcéljának abban kell összpontosulni, hogy a mindennemű változások alapját képező mozgásokat s hajtóerőket felismerjük, tehát az összes természettudományokat mechanikára vezessük vissza.

Oly eredmény ez, mely bár az anyag quantitativ és qualitativ változatlanságából kétségbevonhatlanul következik, mégis egyelőre csak eszményi cél marad, melynek létesítésétől nagyon távol vagyunk. Csak egyes szűkebb körű feladatokban sikerült eddig a közvetlenül észlelt változásokat mozgásokra s meghatározott mozgatóerőkre visszavezetni. Sikerült ez a csillagászaton kívül még a physikának tisztán mechanikai részeiben, a hangtanban, fénytanban és az elektricitás tanában; a hőtan és a vegytan ugyancsak szorgalmasan dolgozik a molekulák alakjára, mozgására és elhelyezkedésére vonatkozó képzetek megállapításán, de az élettani tudományok! alig fogtak még e munkához.

Annál fontosabb reánk nézve, hogy az utolsó negyed század lefolyása alatt nagy haladás történt épen e kijelölt cél felé. Ha az erők végelemzésben mind mozgató erők, tehát mindannyian egyneműek, úgy mindannyinak ugyanazon mértékkel, t. i. a mechanikai erő mértékével kell mérhetőnek lennie. S hogy ez valóban így van, azt tetteleg bebizonyítottak tekinthetjük. A törvény, mely ezt kifejezi, az „erő megmaradásának törvénye” nevet viseli.

A természeti jelenségek korlátolt körére már Newton kimondotta azt; később világosabban és általánosabban

Bernoulli Dániel, ki azt az ismert tisztán mechanikai folyamatok nagy részében érvényre emelte. Ez időtől fogva sokáig csak a részletekben bővítettet ez, és pedig különösen Rumford, Humphrey Davy és Montgolfier munkálatai által. A ki e törvény értelmét először fogta fel tisztán és világosan, s először merete kimondani általános érvényességét, Dr. Robert Mayer volt Heilbronnból, kinek előadását az enyém után hallhatni szerencsések leszünk. Mig Mayer úr élettani kutatások nyomán e törvény legáltalánosabb alakjának felfedezésére jutott, addig Joule Manchesterben vele egyidejűleg s tőle függetlenül a gép-szerkesztés technikai kérdései által vezetett ugyanannak felismeréséhez. Ez utóbbinak köszönhetjük ama fontos és fáradságos kísérleteket is, melyek az erő megmaradásának törvényét éppen azon téren mutatják helyesnek, hol az legkétesebbnek látszhatott, s hol ismereteink azelőtt leghiányosabbak voltak, t. i. azon jelenségek körében, melyeknél hő által munka, vagy megfordítva, munka által hő keletkezik.

Hogy a törvényt világosan ki lehessen fejezni, arra szükséges volt, hogy a már előbb Galilei által talált fogalommal, az erő intenzitásával ellentétben egy új fogalom, az erő mennyisége állapíttassék meg, melyet mások a munka vagy az erély mennyiségének is neveznek.

Az erő mennyiségének e fogalma részben már az elméleti mechanikában egy mozgatott tömeg eleven erőmennyiségének fogalma által, részben pedig a gyakorlati mechanikában használatos hajtóerő fogalma által volt előkészítve. A gépészmérnökök már a mértéket is megállapították, melylyel a hajtóerőt mérnünk kell, s e célból a fontok azon számát határozták meg, melyet a megmerendő hajtóerő egy másodperc alatt egy lábnyi magasságra bír emelni. Ily módon egy lóerő alatt azon hajtóerőt értjük, mely arra szükséges, hogy egy 70 kilogramnyi súly minden másodperczben egy méterrel magasabbra emeltessék.

45

A gépek s a mozgatásukra szükséges hajtó erők tünetik ki legnépszerűbb alakjában a természeti erők azon egyneműségét, mely az erő megmaradásának elvéből következik. Minden gép, melyet működésbe kell hoznunk, mechanikai hajtó erőre szorul. Hogy az honnan vétetik és milyen az alakja? — az közömbös; csak elég nagy és kitartó legyen. Gyakorlati czéljaink elérésére majd gőzgépeket, majd vízi kerekeket és turbinákat, majd lovakat és ökröket, majd szélmalmot, vagy, ha nagy erő kifejtésre nem volna szükség, emberi karokat, felhúzott súlyokat vagy elektromagnetikus gépeket használunk, Hogy e hajtóerők közül melyiket választjuk, az csupán a szükségelt erő nagyságától s a fennálló körülményektől függ. A vízi malomban a hegyekről lefolyó víz nehézsége működik; a hegyekre meteorologiai folyamatok viszik fel a vizet, s így végső elemzésben azok szolgáltatják a malom hajtó erejét. A szélmalmon a mozgó lég eleven ereje hajtja a szárnyakat, s így ezen mozgás is a légkör meteorologiai folyamataira vezethető vissza. A gőzgépben a hevített gőzök feszítőereje az, mi a dugattyút ide-oda tolja, e feszítőerőt pedig azon hő hozza létre, mely a szén elégetése által, tehát vegyi folyamat következtében keletkezik. Ez utóbbi szolgáltatja tehát a gőzgép hajtóerejét. Midőn ló vagy emberi kar dolgozik, akkor az idegek által indítva közvetlenül az izmok teremtenek mechanikai erőt. Hogy azonban valamely élő test izomerőt fejtsen ki, arra táplálkoznia és lélegzenie kell. A tápszerek, melyeket bevesz, újra kiválnak belőle, de csak miután a belélegzett léggel szénsavvá és vízzé egyesültek. Vegyi folyamatok szükségesek tehát arra is, hogy az izomerő huzamosan fentartassék. Ugyanaz áll az elektromagnetikus gépekről és telegrafjainkról is.

A mechanikai hajtóerőt e szerint a legkülönműbb természeti folyamatokból, s a legkülönbözőbb módokon nyerjük, de a mint már itt is meg kell jegyeznünk, mindig csak korlátolt mennyiségben. Valamit mindannyiszor felhasználunk azon készletből, melyet nekünk a természet szol-

gáltat. Vizi malmoknál a magasban összegyűjtött víz egy részét használjuk fel, a gőzgépnél szenet, az elektro-magnetikus gépnél zinket és kénsavat, a dolgozó lónál pedig élelmi szereket fogyasztunk, végre a szélmalomnál azon szél eleven erejét használjuk fel, mely a szárnyakba ütközik.

Viszont, ha bárminemű hajtóerő rendelkezésünkre áll, úgy azt a legkülönbözőbb célokra fordíthatjuk. Nem is szükséges, hogy e helyen az ipar szolgálatában álló gépek sokaságával s legkülönbözőbb nemű munkálataikkal bővebben foglalkozzam.

Figyeljünk inkább a hajtóerő munkaképességében mutatkozó physikai különbségekre. Segélyökkel testeket emelhetünk, vizet a magasba szivattyúzhatunk, gázokat sűrítethetünk, vasuti vonatokat mozgathatunk, és surlódás útján hőt teremthetünk. Felhasználhatjuk azokat elektro-magnetikus gépek forgatására is, s így elektrikus folyamatokat állíthatunk elő, melyek vizet, vagy egyéb bensően összefüggő vegyületeket elbontanak, drótokat izzásba hoznak, vasat magnetizálnak stb.

Ekként, ha kellő mechanikai hajtó erő áll rendelkezésünkre, úgy mindazon állapotokat és körülményeket visszaállíthatjuk, melyek az előbbi felsorolás értelmében mechanikai hajtóerőt szolgáltattak.

A mint azonban a bizonyos természeti folyamatból nyerhető hajtó erő mindig korlátolt, úgy más oldalról, azon változások mennyisége is korlátolt, melyeket bizonyos hajtóerő felhasználása által létrehozhatunk.

Ezen eleinte csak egyes gépen és physikai eszközökön tapasztalt tények később egy általános érvényű természeti törvénynyé egyesítettettek. Minden változás a természetben a hajtóerő bizonyos mennyiségének keletkezésével vagy megsemmisülésével egyenértékű. Midőn hajtóerő keletkezik, akkor az vagy mint olyan fog nyilvánulni, vagy közvetlenül keletkezése után újra felhasználtatván, más, vele egyenértékű változásokat fog létrehozni. Ez egyenértékűség megállapítása

főképen azon méréseken alapul, melyeket Joule a hő mechanikai egyenértékének megállapítása céljából eszközölt. Ha valamely gőzgépet a hő odavezetése által mozgásba hozunk, úgy abban a létesített munkával arányos hőmennyiség fog felhasználtatni. Azon hő, mely bizonyos vízmennyiség hőmérsékét a százfokú hőmérő egy fokával növeli, ugyanazon vízmennyiséget 425 méternyi magasságra képes emelni. S viszont, midőn surlódás útján munkát alakítunk hővé, akkor arra, hogy bizonyos vízmennyiségnek hőmérsékét egy fokkal növeljük, azon hajtóerőt kell felhasználnunk, melyet ugyanazon vízmennyiség 425 méternyi magasságból aláesve szolgáltatna. A vegyi folyamatok ugyancsak meghatározott arányokban létesítnek hőt; ez által válik lehetővé, hogy a vegyi erőkkel egyenértékű hatóerőt meghatározzuk, s így a vegyrokonsági erő erélyét mechanikai mértékben mérjük le. Ugyanez áll a természeti erők minden egyéb alakjára nézve is, miről különben e helyen szükségtelen bővebben szólnunk.

E szerint mindezen vizsgálódások eredményeül csakugyan azt találjuk, hogy a természeti erők mindannyian ugyanazon mechanikai mértékkel mérhetők, s hogy munkaképességüket illetőleg mindannyian tisztán mechanikai erőkkel egyenértékűek. Ez által megtettük az első fontos lépést azon nagy terjedelmű feladat megoldása felé, miszerint a természeti jelenségeket mozgásokra vezessük vissza.

Mig az eddig előadottak inkább csak arra szolgáltak, hogy az erő megmaradása elvének logikai értékét kiténtesék, addig annak valódi jelentősége a természeti jelenségek együttes felfogására nézve azon nagyszerű összefüggésben nyilatkozik, melylyel a világegyetemnek tér és idő tekintetében egymástól legtávolabb jelenségeit összefűzi. A világegyetem e törvény szempontjából bizonyos erélylyel látszik felruházva, mely a természeti jelenségek tarka változatossága közben nem gyarapodhatik, de nem is kisebbedhetik; mely folyton új meg új alakban jelenik meg, de mennyiségében,

valamint az anyag, változást nem szenved; mely a térben hat, de nem osztható a térrel együtt, mint az anyag. Minden változás a természetben az erély készletének alakváltozásában áll. Egy része majd mint a mozgó tömegek eleven ereje, majd mint szabályos hang vagy fényrezgés, majd mint hő, azaz mint a láthatatlan kicsiny testrészek szabálytalan mozgása tűnik elő; máskor ismét az egymás felé nehezedő testek nehézségében, a ruganyos testek feszültségében és nyomásában, vagy a vegyi vonzásokban s az elektricitás és magnetismus eloszlásában nyilvánkozik. Valahányszor egy alakjában eltűnik, mindannyiszor bizonyára egy más alakban föllép, s valahányszor új alakban mutatkozik, mindannyiszor biztosak lehetünk, hogy egy más megjelenési alakjában megsemmisült.

A Carnot-féle törvény, melyet Clausius új alakba öntve, a mechanikai hő-elmélet egyik alaptételévé emelt, még arra is tanít, hogy eme változásoknak általában véve, folytonosan bizonyos meghatározott irányban kell történniök, a mennyiben a világegyetem nagy erélykészletéből mindig többnek és többnek kell hő alakjába átváltoznia.

Gondolatban visszatekinthetünk most azon kezdeti állapotra, midőn világegyetemünk testeinek tömege még hideg volt, s valószínűleg mint chaotikus köd vagy por terjedt el a világűrben. Az előadottak alapján beláthatjuk, hogy a chaotikus anyagnak, midőn a nehézségi erő következtében összetömörödött, egyszersmind fel kellett hevülnie. A szinképi elemzés* segélyével még ma is találunk a szétszórva eloszlott anyagnak nyomaira, nevezetesen a ködfoltokban, meteorrajokban és üstökösökben. A tömörödési folyamat s az ezzel összekötött hőkifejtés még tovább foly, bár a világűrnek általunk elfoglalt részében már nagyrészt be van fejezve. A naprendszerünket alkotó anyag egykori erélyének nagy

* Az elvek, melyeken a módszer alapul, ugyancsak a mechanikai hőelméletből következnek.

része ma a nap hevének alakjában van meg. Ez erély azonban nem fogja örökké rendszerünk birtokát képezni; mint fény és hő folytonosan kisugárzik az a végtelen világűrbe. E kisugárzásnál földünk is kiveszi osztályrészét. A napnak földünkre sugárzó heve az, mi a szeleket és a tenger áramait létre hozza, a mi a vízgőzőket a tropikus tengerekből felemelvén, a hegyeken s azon vidékeken rakja le, honnét forrásokká és folyamokká gyűlve, a tengerbe visszatérnek. A nap heve a növényeknek erőt ad arra, hogy a szénsavból és vízből ismét éghető anyagokat válasszsanak ki, melyek az állatoknak táplálékul szolgálnak. E szerint a szervetlen és szerves élet tarka változatosságának hajtóerejét egyaránt a világegyetemnek nagy erélykészlete szolgáltatja.

A természeti folyamatok összefüggésének e magasztos képét újabb időben gyakran és fényes színekkel ecsetelték; elég lesz tehát, ha azt e helyen csak főbb vonásaiban körvonalozom. Ha a természettudomány feladata az, hogy törvényeket találjon, úgy az erő megmaradása törvényének felismerése által bizonyára egy nagy horderejű lépést tett előre.

E törvénynek előbb említett alkalmazása az állatok és növények életfolyamataira, ismereteink egy másik körébe vezet át, hol a természet törvényszerűségének felismerésében szintén lényeges haladások történtek.

A szóban forgó törvénynek ugyanis a physiologia elvi kérdéseire nézve szintén nagy hordereje van. Physiologiai kérdések voltak azok, melyek R. Mayert és magamat is az erő megmaradásának törvényére vonatkozó vizsgálatok eszközölésére indítottak.

A szervetlen természet jelenségeinek körében követhető módszer elveit illetőleg kételynek már rég nem volt helye. Világos volt, hogy e jelenségek szigorú törvényeit kellett keresni, s nagyszámu példák mutatták már azt, hogy a feladat valóban megoldható.

Ellenben az életfolyamatoknak nagyobb bonyolódottsága s a szellemi tevékenységgel való benső összeköttetése

s különösen a szerves képződmények félreismerhetetlen észszerűsége helyet engedett a szigorú törvényszerűség fennállása iránti kételyeknek, úgy, hogy a physiologianak már elejétől fogva azon elvi kérdéssel volt dolga: feltétlenül törvényszerűek-e az életfolyamatok? s nincsenek-e azok valamely szűkebb vagy tágabb körben, a törvények uralma alól felszabadítva? Paracelsus, Helmont és Stahl azon nézete, miszerint a szerves jelenségeket bizonyos „éltető szellem“ kormányozza, mely többé kevésbé hasonló az ember öntudatos szelleméhez, más szavakba burkolva, még ma is nagyon el van terjedve, különösen Németország határain kívül. Elismerték ugyan a szervetlen természeti erők befolyását a szervezetekre, a memyiben föltételezték, hogy az éltető szellem az anyagon csak a physikai és vegyi erők közvetítésével uralkodhatik; segítségük nélkül mit sem tehet, ez erők hatásképességét azonban belátása szerint lekötheti és felszabadíthatja.

Így a halál után azért áll be rothadás, mert az éltető szellem, vagyis az életerő befolyása által előbb lekötött vegyi erők a halál alkalmával felszabadulnak. Különben a vitalisták, bármennyire különböző kifejezéseket használtak is, akár az *Archaeust*, akár az *Anima in sciat*, akár az éltető erőt, vagy a természet gyógyerejét emlegették, mégis mindig csak egy és ugyanazon hypothetikus tényezővel foglalkoztak, melynek legfőbb képessége az, hogy a testet tervszerűen felépíteni, s a külső viszonyokhoz észszerűen idomítani tudja, s mely éppen ezen képessége következtében esakis a szellem nevét viselhette.

Világos azonban, hogy az említett felfogási mód az erő megmaradásának elvével egyenes ellentétben áll. Ha az éltető erő valamely súly nehézségét ideiglenesen fel bírná függesztetni, úgy a súlyt munka nélkül tetszőleges magasságra emelhetnék, s általa tetszőleges munkát bírnánk végezni, mihelyest a súly nehézségi ereje újra felszabadulna. Ekként minden fogyasztás nélkül semmiből teremthetnénk

munkát. Ha pedig az éltető erő a szén vegyi vonzódását az oxigénhez felfüggeszthetné, úgy a szénsavat minden munka nélkül bonthatnók újra alkotórészeire, s a szabaddá vált szén és oxigént új munka végzésére használhatnók.

Tettleg sehol sem látjuk azonban, hogy az élő lények megfelelő fogyasztás nélkül bármily csekély munkát végeznének. Munkaképességeket illetőleg az állatok egészen hasonlók a gőzgépekhez. Az állatok ép úgy, mint ama gépek, csak akkor mozoghatnak és dolgozhatnak, ha tüzelő anyaggal (t. i. tápszerekkel) s oxigéntartalmú léggel kellő mennyiségben láttatnak el; az állatok és a gépek egyaránt adják vissza a felvett anyagokat elégetett állapotban, s egyaránt teremtenek hőt és munkát. Az eddigi vizsgálódások azon hőnek mennyiségére vonatkozólag, melyet valamely állat nyugvása közben kifejt, egyáltalában nincsenek ellentétben azon feltevessel, miszerint ezen hő az állatban működő vegyi erők munkájával egyenértékű.

A növények munkavégzésére nézve bizonyára elég munkaerőt szolgáltat a nap heve, melyet azok testük szerkezetének felépítésére és gyarapítására fordítanak. Különben még a növényeket valamint az állatokat illetőleg egyaránt kívánatos, hogy a felhasznált és a keletkezett munka egyenértéke pontosan meghatározottassék, s így e kettőnek szigorú megegyezése előtűntetessék.

Ila azonban az erő megmaradásának törvénye az élő lényekre nézve is érvényes, úgy az következik belőle, hogy a test felépítésére szükséges anyagok physikai és vegyi erői minden megszakítás, minden önkény nélkül folytonosan működnek, s hogy szigorú törvényszerűségek egy pillanathban sem szakíttatják meg.

A physiologianak tehát az életfolyamatok kutatása közben számot kellett vetnie a természeti erők feltétlen törvényszerűségével, komolyan hozzálátván azon physikai és vegyi folyamatok vizsgálatához, melyek a szervezetek bel-

sejében véghez mennék. Igaz, hogy e munka roppant bonyolódott és terjedelmes; de különösen Németországban a munkások nagy csoportja látott hozzá, s túlzás nélkül mondhatjuk, hogy a jutalom nem soká váratott magára, s hogy az életfolyamatok megértésében nagyobb haladás történt az utolsó negyven év, mint az azt megelőző két ezredév alatt. A leíró természettudományok eléggé nem méltányolható mértékben segítették elő az élettan alapelveinek felderítését, Darwinnak a szerves lények fejlődésére vonatkozó elmélete által, a mennyiben ez a szerves világ czélszerűségének egészen új magyarázatát tette lehetővé.

Az élő lények szerkezetében mutatkozó czélszerűség, mely a tudomány fejlődése közben mindig gazdagabb és gazdagabbnak találtatott, volt bizonyára a főindok, mely oda utalt, hogy az életfolyamatok egy a szellem módjára működő tényező cselekedeteivel összehasonlítottassanak. A világban, melyben élünk, a jelenségek ilyennemű lefolyására csak egy példát találunk azon cselekményekben, melyeket az értelmes ember végez; s el kell ismernünk, hogy a szerves világ czélszerűsége az esetek végtelen sorában emelkedettnek látszik az emberi értelemmel szemben, úgy, hogy inkább lehetnénk hajlandók azt ennél magasabb, mint alacsonyabb rangúnak tekinteni.

Ez okból a szerves világ czélszerűségét Darwin előtt csak kétféle módon tudták magyarázni, de mind a két magyarázat azon nézeten alapult, hogy a természeti tünetmények lefolyása bizonyos értelmi önkénynek van alárendelve. Vagy azt kellett t. i. feltételezni, hogy az életfolyamatokat a vitalistikus elmélet értelmében folytonosan az éltető szellem kormányozza, vagy azt, hogy minden élő faj a természet fölött uralkodó értelmiség egy különös tette folytán keletkezett. Igaz, hogy ez utóbbi nézet inkább csak megszakításokat feltételezett a természeti folyamatok törvényszerű összefüggésében, s lehetővé tette, hogy a mostanig észlelés alá került kérdések az állatoknak jelenleg fennálló

fajaira vonatkozólag, szigorú tudományos buvárlatnak vetteszenek alá; de azért a törvényszerűség megszakítását egészen még sem tudta kikerülni, s így nagy elismerésre nem is számolhatott szemben a vitalistikus elmélettel, melyet még a buvárnak azon természetes törekvése is támogatott, hogy hasonló jelenségek magyarázatára hasonló indokokat keressen.

Darwin elmélete egy lényegesen új teremtő eszmét foglal magában. Azt mutatja ki, hogy a szerves világ észszerűsége, minden értelmiség beavatkozása nélkül, csupán egy természeti törvény vak uralma következtében is létrejöhet. E törvény nem más, mint az egyéni tulajdonságok átöröklésének törvénye, mely már régen ismeretes volt, s csak határozottabb körvonalozásra várt. Ha mindkét szülő közös egyéni sajátságok által tűnik ki, úgy utódai többségére is átszállnak azok, s ha vannak is köztük egyesek, kiknél ama sajátságok hiányzanak, nagyobb számú maradékok között bizonyára fognak találkozni olyanok is, kiknél ama sajátságok még fokozva vannak. Ha ez utóbbiakat a továbbtenyésztésre használjuk, úgy különös sajátságaik átöröklés útján mindinkább fokozódni fognak. Tettleg ez azon eljárás, melyet az állattenyésztők és a kertészek követnek, hogy nagy biztossággal neveljenek új válfajokat, melyek rendkívüli sajátságaik által tűnnek ki. A mesterséges tenyésztés tapasztalatai, tudományos szempontból a fennemlített törvény kísérleti bizonyítékainak tekintendők; az ide vonatkozó kísérletek a szerves világ minden osztályának fajaival, s a test legkülönbözőbb szerveire nézve, máris nagy számú esetekben vezettek sikerhez, s még folytonosan ezer változatban ismételtetnek.

Miután az átöröklés törvényének lefolyását általánosan felismerte, Darwin főfeladata oda irányult, hogy azon következményeket vizsgálja, melyeket e törvény a vadon élő állatokra és növényekre nézve von maga után. Vizsgálódásának ismert eredménye az, hogy azon egyéneknek, melyek

az életért való küzdelemben bárminemű előnyös tulajdonságok által kiválnak, egyszersmind legnagyobb valószínűségük van arra, hogy utódokat hagyjanak maguk után, s azokra előnyös tulajdonságaikat átörökítsék. Ez vonja maga után azt, hogy az élő lények minden faja nemzedékről nemzedékre, tökéletesebben képes alkalmazkodni azon viszonyokhoz, melyek között élnie kell, mindaddig, míg a faj típusa annyira kifejlődött, hogy attól minden jelentékenyebb eltérés előnytelenné válik. Változatlan marad ezentúl a typus mindaddig, míg létélének külső feltételei lényeges változást nem szenvednek. A jelenleg élő lények úgy látszik, már elérték e változatlan állapotot. Ez magyarázza a fajok állandóságát, legalább a történeti idők folyamában.

Darwin elméletének valósága vagy valószínűsége még ma is heves vita tárgyát képezi; de e vita tulajdonképpen csak ama határookra vonatkozik, melyek között a szerves lények átváltozását feltételeznünk szabad. Még Darwin ellenei sem tagadhatják, hogy ugyanazon faj határain belül átöröklés útján jelentékenyen különböző válfajok keletkezhetnek, úgy, a mint Darwin elmélete állítja; sőt, hogy azon alakok közül, melyek eddig ugyanazon nemnek különböző fajaiként tekintettek, sokan egy közös ősalaktól származnak. De hogy erre kell-e szorítkoznunk, vagy szabad-e az összes emlős állatokat az első erszényes állattól, vagy továbbá az összes gerinces állatokat az első lándzsás halaeskától, vagy meg épen az összes állatokat és összes növényeket együttevée az eozoon nyálkás protoplozmájából származtatnunk, mind erre nézve a jelen perczben inkább az egyes bűvárok hajlamai, mint a tények mondanak ítéletet. Tagadhatatlan azonban, hogy a szerves lények különböző osztályai, melyeknek típusai össze nem egyeztethetőknek látszanak, újabb meg újabb átmeneti tagok közvetítése által folytonosan közelebbi kapcsolatba hozatnak, hogy az egymás fölé szabályosan lerakott geologiai rétegek különböző alakjai között, kétségbevonhatatlan átmeneteket lehetett kimutatni, s hogy a felismer-

hető átmenetek száma félreismerhetetlenül szaporodik, mióta a buvárok figyelme azon tények keresésére irányult, melyek Darwin elméletének igazolására és részletes kidolgozására szolgálnak.

Nem szabad felednünk azt sem, mily tiszta fényt vetett Darwin nagy eszméje egy egész sorára az addig annyira rejtélyes fogalmaknak, minők a természetes rokonság, a természetes rendszer és a szervek hasonczélúsága a különböző állatoknál; s hogy mily könnyen magyarázta meg az alsóbb rendű állati képződmények ismétlődését a felsőbb rendű állatok embryoinál, a palaeontologiai alakoknak a természeti rokonság szerint véghez ment fejlődését, s azon sajátos rokonsági viszonyokat, melyek a szűk földrajzi határok közé szorított faunák- és florákban mutatkoznak. A természeti rokonság régebben csak az alakok titokszerű, s minden ok nélküli hasonlóságának tekintetett; Darwin elmélete által azonban valódi vérrokonsággá vált. A természetes rendszernek, bár az mint olyan kezdett érvényesülni, azelőtt elméleti szempontból még sem volt valódi értelme; most azonban egyszerre a szerves lények nemzetség-fájának jelentőségére emelkedett. A palaeontologiai és embryologiai fejlődésre s a földrajzi elterjedésre vonatkozó tények csak bámulatos különösségeknek tartattak mindaddig, míg minden egyes faj keletkezését a teremtő egy különös tetteből kellett következtetni; a mi csaknem rossz színben állította elé azon tapogatózó eljárást, melylyel a világ teremtője gyanusított. Darwin mindezen tényeket a titokszerű különösségek halmazából kiemelve, egy nagyszerű fejlődés lépesőivé tette, s biztos fogalmakat állított azon művészi felfogás vagy gyanítás helyébe, melyet az összehasonlító boncztan és a növények morphológiájának körében már Goethe megértelt.

Lehetővé vált ez által, hogy a buvárlat ezentúl pontosan kijelölt kérdésekre irányuljon, s ez már magában véve nagy előny, még akkor is, ha utóbb netalán az tűnnék ki, hogy Darwin elmélete nem fejezi ki az egész valót, s

hogy az általa kijelölt tényezők mellett még mások is gyakoroltak befolyást a szerves lények átalakulására.

Amint Darwin elmélete kizárólag az egyes fajok átalakulásával foglalkozik, a mennyiben a nemzedékek bizonyos sorában megy véghez, ép úgy ismeretes, hogy bizonyos fokig az egyes egyén is alkalmazkodik azon körülményekhez, melyek között élnie kell, vagy más szavakkal mondva, hozzászokik e körülményekhez, s így életének folyamában némi haladást képes tenni szervezetének czélszerűségét illetőleg. Épen a szerves életfolyamatok azon terén, hol a szervezetek czélszerűsége a legmagasabb fokig kifejlődött, s esodálatunkat leginkább megragadja, t. i. az érzéki észrevévések terén, a physiologia legújabb haladásai arra tanítanak, hogy ott az egyéni alkalmazkodás nem jelentéktelen szerepet játszik.

Ki ne csodálta volna már azon pontosságot és hűséget, melylyel érzékeink a környező világ jelenségeiről értesítenek, így különösen szemünket, midőn az a távol ködébe hatol. A hírek, melyeket ekként a külvilág tárgyai felől nyerünk, elhatározásaink és tetteink indító okát képezik, s csak ha érzékeink által a külviszonyokat helyesen fogjuk fel, csak akkor számíthatunk arra, hogy helyesen, azaz úgy fogunk cselekedni, hogy az eredmény várakozásunknak megfeleljen. Cselekvéseink eredményei által mindig újból vizsgáljuk azon hírek hűségét, melyeket érzékeink által nyerünk, s milliionszorosan ismételt tapasztalás tanít arra, hogy e hűség csaknem kivétel nélküli. Ammit legalább mondhatunk, hogy a kivételek, vagyis az úgynevezett érzéki csalódások nagyon ritkák, s csak egészen különös és rendkívüli körülmények által okoztatnak.

Valahányszor kezünket kinyújtjuk, hogy valamit megfogjunk, vagy lábunkat előre rakjuk, hogy valamely tárgyra lépjünk, mindannyiszor előbb pontos látképek által kell meggyőződnnünk az érintendő tárgynak helyzetéről, alakjáról,

távolságáról s i. t., máskülönben félrenyulnánk vagy félrelép-nénk. Érzéki észrevezéseink biztosságának és pontosságának legalább is oly nagynak kell lenni, mint azon biztosságnak és pontosságnak, melyet cselekményeinkben kellő gyakorlat által elérhetünk, s így a hit érzékeink megbízhatóságában nem vakhit, hanem gyakorlati helyességét illetőleg számtalan kísérletek által újra meg újra megvizsgált és igazolt következtetés.

Iha e megegyezés az érzéki észrevezések és tárgyaik között, mely összes ismereteink alapját képezi, a szerves teremtvő erőnek műve volna: úgy valóban bámul-nunk kellene annak czélszerűségét. De a tények vizsgálata hitünket a belső és a külső világ összhangjában épen e téren kiméletlenül aláasta.

Ne is szóljunk azon, mindenesetre meglepő eredményekről, melyekhez a szemmérési és optikai vizsgálódások vezettek, s melyek szerint a szem, nemesak hogy nem töké-letesebb optikai eszköz azoknál, melyeket az ember keze alkot, hanem a dioptrikai eszközök kikerülhetetlen hibái mellett még olyanokat is mutat, melyeket mesterséges esz-közöknél élesen megrónánk, s ne szóljunk arról sem, hogy a fül a külső hangot szintén nem közli velünk valódi erőssé-gének viszonyában, hanem azt sajátos módon szétbontja, megváltoztatja, s magassága szerinti különböző mértékben gyengíti vagy erősíti.

Ez eltérések nem is jöhetnek szóba, a hiányok mellett, melyekkel akkor találkozunk, midőn azon érzéki érzetek mineműségét vizsgáljuk, melyek nekünk a kültárgyak kü-lönböző tulajdonságairól hírt adnak. Ez utóbbiakra vonat-kozálag bebizonyíthatjuk, hogy semminemű hasonlatosság nem áll fenn érzéki érzetünk mineműsége és azon kültárgy mineműsége között, mely által az előidéztetett.

Lényegében véve már J o h a n n e s M ü l l e r kimondta ezt a specifikus érző képességek törvényében. E törvény

szerint ugyanis minden érző idegnek sajátos érzési módja van; s bár minden érző ideg több különmemű behatás által hozható tevékenységbe, s ugyanazon külső behatás rendesen különböző érző szervekre képes hatni; mégis a látó idegben mindig fényérzet, a halló idegben mindig hangérzet, s egyáltalában minden egyes érző idegben mindig csak a specifikus érző képességének megfelelő érzet keletkezik. Innét van, hogy a legfeltűnőbb különbségek az érzetek minemiségében, t. i. a különbségek a különböző érzékek érzetei között, nem a külső behatások nemétől, hanem csupán az általuk tevékenységbe hozott idegek természetétől függnék.

A Müller-féle törvény hordereje a későbbi buvárlatok folyamában még növekedett. Azóta nagy valószínűséget nyert az a nézet, hogy még a különböző színek, vagy a különböző hangmagasságok érzetei is, tehát még azon qualitativ különbségek is, melyek a fényérzetek és hangérzetek körén belül előtűnnek, a látó ideg, illetőleg a halló ideg különböző, és pedig különböző érző képességgel bíró idegrost rendszereinek izgatásától függnék. A roppant különféleség, mely a fénykeverékekben tárgyilagosan véve fennáll, a fényérzetekben ez uton csupán háromféle különféleségre vezet, t. i. azon különféleségekre, melyek három alapszín keverési arányaiban mutatkoznak. A különbségek ilyenén összevonása folytán lehetséges, hogy nagyon különböző fénykeverékeknek egyforma kinézésük legyen. E tárgyra vonatkozó vizsgálatok alapján kitűnt az is, miszerint a bennünk ugyanazon szín érzetét keltő színkeverékek physikai szempontból nagyon különbözők lehetnek. Ezen s más hasonló tényekből azon nagyfontosságú következtetéshez jutunk, hogy érzeteink, minőségüket illetőleg, csupán jelek a kültárgyak felismerésére, de nem képek, melyek hozzájuk csak legkevésbé is hasonlitanának. A kép tárggyával bizonyos tekintetben mindig egy nemű; a szobornak testalkata ugyanaz, mint az emberé, melyet előállít; a kép távlátszatában és színezetében hasonló tárggyához. A jelekre nézve elég az, hogy előtűn-

jék mindannyiszor, valahányszor azon tünemény beáll, melyet jeleznie kell, s nem szükséges, hogy azzal másban egyezzen meg, mint fellépésének egyidejűségében; a társalgás érzéki érzeteink és a kültárgyak között csak ily módon történik. Az érzéki érzetek csupán jelek, melyeket olvasni tanulunk, csupán ama nyelvnek szavai, melyben a kültárgyak hozzánk beszélnek, s melyet, bár szervezetünk annak megértésére képesít, mégis gyakorlás és tapasztalatok útján kell megtanulnunk, ép úgy, mint anyanyelvünket.

Így van ez nem csak érzeteink minőleges különbségeit illetőleg, hanem nagyrészt, hogy ne mondjam, egészben véve, a térbeli különbségek érzéki észrevevését illetőleg is. E tekintetben különösen a két szemmel való látás tana és a stereoszkóp felfedezése vált újabb időben fontossá. Az, a mit két szemünk érzete minden pszichikai tevékenység közvetítése nélkül birna szolgáltatni, nem volna egyéb, mint a külvilágnak két, felületi, azaz kétméretű képe, a mint azok egymástól kissé különbözvén, két szemünk rezezhártyáin keletkeznek; szemléletünkben e helyett a környező világnak térbeli, azaz háromméretű képe áll elő. A tőlünk nem nagyon távol fekvő tárgyak távolságát érzékiileg ép oly jól bírjuk felismerni, mint távlati egymásmellett állásokat, s két különböző távolságban fekvő, és különböző látszólagos nagyságú tárgynak valódi nagyságát meglehetősen biztossággal hasonlíthatjuk össze.

A térnek látáson alapuló érzéki felfogása nézetem szerint csak akkor nyer minden ténynyel szemben helytálló magyarázatot, ha Lotze-val feltételezzük, hogy a különböző módon elhelyezett idegrostok érzetei egymástól sajátos szerű jelek által különböznek, melyeknek a térre vonatkozó jelentőségét csak megtanulás által ismerhetjük fel. Lotze e sajátos szerű jeleknek „táj-jel“ nevet adott. Hogy ily feltevések alapján és testünk mozgásainak segítségével, valóban felismerhetjük e jelek értelmét, s hogy az által azt is megtanulhatjuk, miként kelljen a mozgásokat

végezni, hogy a várt eredmények eléréséhez és felfogásához vezessenek, azt már többen kifejtették.

A tapasztalás érzeteink magyarázatánál mindig nagy szerepet játszik, s kételyek esetében rendesen döntő szót emel; elismerik azt még ama physiologok is, kiknek törekvése leginkább oda irányul, hogy lehetőleg nagy tért nyissanak azon velünk született harmoniának, mely szerintök érzékeink és a külvilág között fennállana. A vita ma jóformán már csak a körül forog, mily tág befolyást kell tulajdonítanunk az újszülöttnél olyan veleszületett hajlamoknak, melyek az érzéki érzetek megértésére szükséges jártasság megszerzését könnyebbé tehetnék.

Az ily hajlamok feltételezése azonban egyáltalában nem szükséges, sőt az a felnőtteknél jól megfigyelt jelenségek magyarázatát inkább nehezíti mint könnyíti.*

Az következik ebből, hogy az annyira csodált harmonia, érzéki felfogásaink és a tárgyak között, kevés és kétséges kivételekkel nem egyéb, mint bizonyos alkalmazkodásbeli ügyesség, melyet az egyes egyén magának tapasztalás, gyakorlás, s hasonló esetekre való visszaemlékezés által szerez.

Tárgyalásaink fonala itt újra kiindul pontunkhoz vezet. Láttuk kezdetben, hogy a mire tudományunknak törekednie kell, nem egyéb, mint a törvények ismerete, vagy más szavakkal azon ismeret, hogy miként állnak be különböző időpontokban, ugyanazon körülmények között ugyanazon következmények. Láttuk, hogy végső elemzésben minden törvényt mozgási törvényekre kell visszavezetni. S most legvégül azt találjuk, hogy érzéki érzeteink a külvilág változásairól csak jelek által értesítenek, s csak időszerinti egymásutánjok által nyerik a képek jelentőségét. De épen azért képesek azon törvényszerűséget lemásolni, mely a természeti folyamatok időszerinti lefolyásában nyilatkozik. Ha a termé-

* E tárgyról bővebben e füzet első három előadásában szóltam.

szetben egyenlő körülmények között egyenlő hatások állnak be, úgy az észlelő ember is egyenlő körülmények között a benyomások egyenlő sorozatát fogja törvényszerűen ismételve látni. E szerint az, a mit érzéki szerveink teljesítenek, épen elég arra, hogy a tudomány feladatát megoldhassuk, s elég arra, hogy mint a tett emberei gyakorlati céljainkat elérhessük; a mit csak akkor tehetünk, ha részben az önkénytelenül szerzett mindennapi tapasztalatokra, részben a szándékosan gyűjtött tudományos ismeretekre támaszkodunk.

Ezzel bezárván tárgyunknak áttekintését, eredményeit reánk nézve kedvezőknek mondhatjuk. A természet tudománya nem csak egyes részletekben, hanem mint összefüggő egész is bizton haladt céljai felé, s az a mit már elért, legjobban kezeskedik további haladásairól. A kételyek a természet általános törvényszerűségén, mindinkább háttérbe szorítottak, s mindinkább általánosabb s terjedelmesebb törvények lepleztettek le. Hogy a tudományos törekvés ez iránya valóban egészséges, azt nagy gyakorlati értékű következményei világosan bizonyították; s e tekintetben, ha tisztelt hallgatóim megengedik, különösen az általam képviselt tudományt emelhetem ki. A kétkedés a természet szükségképeni törvényszerűségén, s így különösen az életjelenségek megérthetőségén, a tudományos tevékenységre épen a physiologia körében gyakorolta leginkább bénító befolyását, s kiterjedt az a physiologióra támaszkodó gyakorlati tudományra, az orvosi tudományra is. Mióta a figyelem e téren is egész komolysággal a természettudományi módszerekre, tehát a jelenségeknek pontos észlelésére és a kísérletekre irányult, azóta e két tudomány nagyobb lendületet nyert, mint előbb évezredek lefolyása alatt. Mint volt gyakorló orvos, erről magam is bizonyosságot tehetek. Tanuló éveim az orvosi tudomány azon fejlődési korszakába estek, midőn a gondolkozó s lelkiismeretes fők a kétségbeeséssel küzdöttek. Könnyen belátható volt már akkor, hogy az orvosi tudományoknak régi, túlnyomóan elméleti módszerei

egészen tarthatatlanok; de ez elméletek a nekik alapul szolgáló tapasztalati tényekkel oly szétbonthatlanul voltak egybeszőve, hogy velök együtt többnyire ezek is értéktelenné váltak. Miként kelljen a tudományt újra felépíteni, azt a többi természettudományok példája mutatta; de a feladat mint óriási mű állott előttünk; a munka jóformán még megkezdve sem volt, és az első lépések részben csak durvák és ügyetlenek lehettek. Nem csodálhatjuk, ha ily körülmények között az őszinte és komolyan gondolkozó férfiak közül sokan elégedetlenül fordultak el az orvosi tudománytól, vagy elvileg túlzott empirismusnak hódoltak.

Az ernyedetlen munka azonban hamarabb meghozta gyümölcseit, mint sokan gondolták. A mechanikai fogalmak alkalmazása a vérkeringés és a légzés tanában, a hőjelenéseknek tökéletesebb megértése, az idegek élettanának részletesebb kifejlődése, gyorsan vezetett nagy jelentőségű következményekre; a parasitikus szövetek göresövi vizsgálata, és a kórboneztan nagyszerű haladása a figyelmet a tapogatózó elméletektől ellenállhatlanul a valóság körébe terelte. Ez alapon csakhamar a kórfolyamatoknak sokkal pontosabb megfigyelése s élesebb megkülönböztetése vált lehetővé, mint azt a régibb orvosi tudomány, az érverés számitása, vagy a láz típusának meghatározása által elérni tudta. Ha szabad az orvosi tudománynak egy ágát neveznem, melyben a természettudományi módszer befolyása legfényesebben tünt elő, úgy a szemgyógyászatra utallhatok. A szemnek sajátos alkata könnyen lehetővé teszi, hogy a zavarokat úgy az élő szemnek bonczani szerkezetében, valamint működésében physikai módszerek segélyével felismerhessük. Egyszerű physikai segédeszközök, t. i. majd gömb, majd henger-, majd hasábalakú szemüvegek, sok esetben elégségesek oly bajok elhárítására, melyek régibb időkben a szemet véglegesen haszonvehetetlennek tüntették elő, más oldalról lehetéssé vált az, hogy sok oly bajt már kezdetében felismerjünk és elhárítsunk, melyet előbb csak akkor

lehetett észrevenni, midőn már gyógyíthatatlan vakságot vont maga után. A szemgyógyászat a tudományos módszerek alkalmazásának legnagyobb tért engedvén, egyszersmind a legjelesebb buvárok szép számát vonta körébe, s általuk fejlődésének mai fokára emeltetett, melyben az orvosi tudományok többi ágaival szemben a helyes módszer alkalmazására buzdító például szolgál, épen úgy, mint azt hosszú időn át a csillagászat a többi természettudományokkal szemben tette.

Míg a szervetlen természet buvárlatának terén Európa különböző nemzetei együtt s egymással jóformán lépést tartva haladtak előre, addig a physiologia és az orvosi tudomány újabb kifejlődése különösen a német buvárok érdemét képezi. Már fent kijeleltem az akadályokat, melyek azelőtt e téren minden haladásnak útjában állottak. Az élet természetére vonatkozó kérdések szorosan összefüggnek bizonyos pszichológiai és ethikai kérdésekkel. Igaz, hogy itt is mindenekelőtt azon fáradhatatlan szorgalom jó tekintetbe, melyet minden kilátás nélkül a gyakorlati haszonra, tisztán eszményi célok elérése végett, magának a tiszta tudománynak fejlesztésére kell fordítani. S méltán dicselkedhetünk azzal, hogy a német buvárok már régi időktől fogva kitűntek épen ezen lelkestült, s minden egyébről lemondó szorgalmuk által, mely jutalmát nem a külső sikerben, hanem csupán a belső megelégedésben keresi.

Nézetem szerint az eredmény sikerére nézve ennél még fontosabb volt egy más tényező, hogy t. i. mi még kevésbbé rettentünk vissza az egész és szigorú igazság következményei elől, mint mások. Franciaországban és Angliában is vannak kitűnő buvárok, kik egész erélylyel tudnának a természettudományi módszerek értelmében haladni; de eddig többnyire társadalmi és egyházi előítéleteknek kellett hódolniok, s ha meggyőződésüket mégis nyíltan kimondották, úgy azt csak társadalmi befolyásuk és hatáskörüik rovására tehették.

Németország bátrabban haladt előre; bizalmát azon meggyőződésbe helyezvén, mely eddig soha csalódásra nem vezette, hogy t. i. a teljesen felismert igazság óvszereket is hoz magával azon veszélyek és hátrányok ellen, melyek a féligazság felismerésével néha együtt járnak. Egy munkaszerető, mértékletes és erkölcsileg erőteljes nemzetnek szabad ily bátornak lennie, szabad nyíltan az igazság szemébe néznie: nem megy az tönkre néhány elhamarkodott s egyoldalú elmélet által, bár általuk az erkölcsi rend és a társadalom alapjában látszanék is megtámadva.

A német haza déli határaihoz állunk itt közel. A tudomány nem ismer politikai határokat, hazánk oly messze terjed abban, meddig a német szó elér, meddig a német szorgalom s a német kitartás az igazságért való küzdelemben visszhangra talál. S hogy itt visszhangra talált, arról meggyőződhetünk azon vendégszerető fogadtatás és azon lelkes szavak által, melyekkel üdvözöltettünk. Egy fiatal orvosi fakultás van itt alakulóban. Azon óhajításunk kísérje életútját, hogy a német tudomány eme sarkalatos erényeiben erőteljes fejlődésnek induljon; nem csak gyógyszereket fog akkor találni a testi fájdalomak enyhítésére, hanem éltető központtá is fog válni a szellemi önállóság, ingatlan meggyőződés és igazságszeretet erősítésére; éltető központtá, mely az összefüggés érzetét a nagy hazával emelni és fenntartani fogja.

MŰSZÓTÁR.

Elektrikus érintési erő, *Electrische Contactkraft.*

Erély, *Energie.*

Érzényes állat, *Bewusstseinswesen.*

Érzéki érzet, *Sinnesempfindung.*

Érzéki észreveszés, *Sinneswahrnehmung.*

Érzőképeség (specifikus), *Sinnesenergie (specifische).*

Érző ideg, *Sinnesnerv.*

Hajtó erő, *Triebkraft.*

Halló ideg, *Hörnerv.*

Hasoncizélű, *Homolog.*

Kórboncztan, *Pathologische Anatomie.*

Látó ideg, *Schnerv.*

Lándzsa halacska, *Lancettfischchen.*

Munkaképesség, *Leistungsfähigkeit.*

Reczehártya, *Netzhaut.*

Szemmérés, *Ophthalmometrie.*

Táj-jel, *Localzeichen.*

Tömörödési folyamat, *Ballungsprocess.*



Hibaigazítás.

33. lap jegyzetében 2-ik sor alólól	¹ 570	helyett ¹ 32	-ed olvasandó.
156. lap 16. sor felülről:	észrevevését	helyett észrevevését,	felismerését
" " 21. " "	észrevevés	" felismerés	
160. " 5. " "	megismert, szépség	helyett megismert szépség	
178. " 8. " "	folyanyossága	" fluorescentiája	
182. " 6. " "	észrevevését	" felismerését	
195. " 6. " "	utóbbiakból	" utóbbiaktól	
197. " 16. " alulról	ultramarin	" (ultramarin)	
198. " 13. " "	telített	" telített	
204. " 3. " felülről	van	" vannak	
208. " 13. " alulról	észrevevését	" észrevevését,	
212. " 12. " felülről	zöld és ibolya	" zöld — és ibolya —	
232. " 4. " "	átérzéki	" látérzéki	
240. " 4. " "	egyenségről	" egyenlőségről	
241. " 19. " "	állunk	" állanak	
250. " 17. " "	alapjára	" alakjára	
266. " 7. " alulról	szám	" szám,	
267. " 6. " felülről	levezesse	" elvezesse	
" " 13. " alulról	2. hasáb <i>Optisches</i>	" <i>Optischer</i>	



MTA
KIK

